

Konrad Windmüller
—
Drahtlose Telegraphie
und Telephonie



B. T. 295

Beck
Bibliothek der gesamten Technik :: 295. Band

Einführung in die drahtlose Telegraphie und Telephonie

von

Konrad Windmüller

Ingenieur

Mit 70 Abbildungen



Leipzig 1923

Dr. Max Jänecke, Verlagsbuchhandlung

Druck von Ramm & Seemann in Leipzig.

Vorwort.

In den Kriegsjahren zur Funkertruppe eingezogen und dann versetzt zur Inspektion der Funkertruppe und später zur Inspektion der Nachrichtentruppen, fand ich allseitig den Wunsch vor nach einer kurzen Einführung in das weite Gebiet der drahtlosen Telegraphie und Telephonie. Das gleiche Verlangen fand ich auch später nach dem Kriege in weiteren Kreisen verbreitet.

Der vorliegende Abriß versucht nun, diesen Wünschen gerecht zu werden. In dem Hauptteil ist die geschichtliche und technische Entwicklung der Wellentelegraphie und -telephonie behandelt, in einem Anhang sind notwendigste theoretische Erläuterungen beigegeben. Durch diese Trennung ist auch der weniger theoretisch Gebildete in der Lage, das Buch mit Nutzen zu lesen.

Manche der besprochenen Methoden sind überholt, zum Verständnis der Fortentwicklung des Ganzen war ihre Beschreibung nötig.

Dem Text sind 70 Abbildungen eingefügt. Von der Wiedergabe von Apparatbildern ist abgesehen, um das Buch nicht unnötig zu beschweren. Dem mit der Apparatur Vertrauten bieten derartige Bilder nichts Neues, dem Neuling im Fach können sie wenig sagen, er muß die Apparatur durch eigene Anschauung und eigene Praxis kennenlernen. Verzichtet ist auch auf eine Besprechung des besonderen Heeresgerätes und auf die Beschreibung der maschinellen Erzeugung von elektrischen Wellen. Dies würde über den Rahmen des Buches hinausgehen.

Die Darstellung setzt allgemeine physikalische und elektrotechnische Kenntnisse voraus.

Das benutzte Quellenmaterial ist auf Seite 6 angegeben.

Berlin im Mai 1922.

Konrad Windmüller.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
1. Entstehung elektrischer Schwingungen	7
2. Ausbreitung der Wellen im Raum. Abhängigkeit der Periode. Resonanz	8
3. Nachweis der Wellen im Raum. Branly'scher Kohärer	9
4. Anordnung von Marconi	10
5. Anordnung von Braun. Kondensatorkreis. Kopplung	11
6. Abstimmung zwischen den einzelnen Schwingungskreisen . .	14
7. Schaltung der Abstimmungsspulen und Abstimmungskondensatoren .	14
8. Kopplungswellen. „Lose“ und „feste“ Kopplung	16
9. Dämpfung im geschlossenen Kondensatorkreis	18
10. Gedämpfte Wellen	18
11. Ungedämpfte Wellen. Anordnungen von Duddell und Poulsen	19
12. Wellenanzeiger	23
13. Schaltung der Wellenanzeiger. Einrichtung der Empfänger- station.	25
14. Poulsen-Station für drahtloses Fernsprechen	28
15. Telephonie mit ungedämpften Wellen.	29
16. Der Tonsender	31
17. Löschfunken. Stoßerregung	32
18. Tönende Funken	35
19. Der Gleichstromtonsender	39
20. Lautverstärker	42
21. Die Liebenröhre	43
22. Der Niederfrequenzverstärker	44
23. Der Hochfrequenzverstärker	45
24. Die Liebenröhre als Schwingungserzeuger	46
25. Schwebungen	47
26. Interferenzempfang	49
27. Das Audion	50
28. Die Antenne	54
29. Die Antenne als Schwingungskreis	56

	Seite
30. Schwingung der Antenne. Verluste	57
31. Einschaltung von Selbstinduktion und Kapazität in die Antenne	61
32. Erdung. Gegengewicht	61
33. Die elektrischen Wellen im Raum. Wellenlängen	62
34. Gerichtete drahtlose Telegraphie	64
35. Leitungsgerichtete Wellentelegraphie	68
36. Der Wellenmesser	69

Anhang.

1. Selbstinduktion	74
2. Kapazität	77
3. Selbstinduktion und Kapazität im Wechselstromkreis	82
4. Elektrische Schwingungen. (Schwingungsdauer. Schwingungszahl. Wellenlänge)	85
5. Resonanz	87
6. Dämpfung	89
7. Kopplungsfaktor. Kopplungsgrad	91
8. Energie schwingender Systeme	92
9. Messungen mit dem Wellenmesser	94

Literatur.

- A. Slaby, Neueste Fortschritte der Funkentelegraphie. Vortrag 1901.
 J. Zenneck, Leitfaden der drahtlosen Telegraphie. 1909.
 H. Rein (K. Wirtz), Lehrbuch der drahtlosen Telegraphie. 1917.
 F. Anderle, Lehrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie. 1917.
 G. Benischke, Die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrotechnik. 1918.
 Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie.
 Elektrotechnische Zeitschrift.

1. Entstehung elektrischer Schwingungen.

Wird ein elektrisch geladener Kondensator, z. B. eine Leydener Flasche, durch einen Funken entladen, so erhält man elektrische Schwingungen. Der in der Funkenstrecke dauernd an Stärke abnehmende Entladungsstrom erzeugt infolge der Selbstinduktion (vgl. Anhang: 1. Selbstinduktion) einen entgegengesetzt gerichteten Extrastromstoß, welcher ebenfalls an Stärke schnell abnimmt. Dieser läßt wiederum einen gegen-gerichteten Extrastromstoß entstehen und so fort.

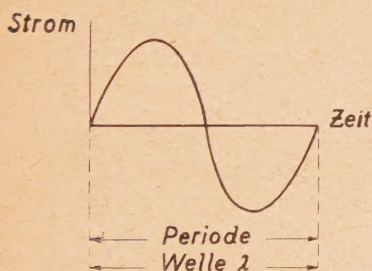


Abb. 1.

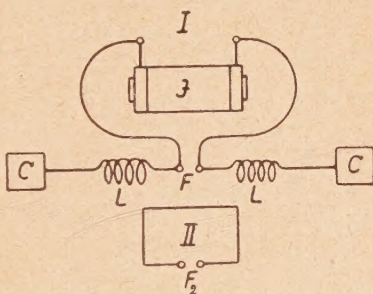


Abb. 2.

Man erhält also bei der Entladung eines Kondensators nicht einen einfachen von der positiven Belegung verlaufenden Stromstoß, sondern infolge des Auftretens der Extraströme eine wechselnd gerichtete Entladung, sogenannte elektrische Schwingungen oder Wellen.

Die Zeit, die zwischen einer Umkehrung des Stromes und der folgenden verläuft, wird Periode der Schwingung genannt, sie hat zwei Wechsel. Die Anzahl der Perioden in der Sekunde nennt man Periodenzahl oder Frequenz (Abb. 1). Die Periode ist also die Zeit, die eine elektrische Welle von der Länge λ zu ihrem Verlauf nötig hat.

Wird ein Induktorium J (Abb. 2) durch eine Funkenstrecke F entladen, so erhält man auch hierbei nach dem eben Gesagten elektrische

Schwingungen. Von der Funkenstrecke F mögen zwei gerade Leiter ausgehen, in welche zwei Spulen L eingeschaltet sind. An die Enden der geraden Leiter mögen zwei Metallplatten C angeschlossen sein. Diese beiden Platten stellen einen Kondensator ähnlich der Leydener Flasche mit ihren beiden Belegungen dar, welcher durch die Funkenstrecke F dauernd entladen wird, während durch das Induktorium dauernd die Aufladung der beiden Platten C erfolgt.

2. Ausbreitung der Wellen im Raum. Abhängigkeit der Periode. Resonanz.

Hertz hat zuerst in den Jahren 1885—1887 nachgewiesen, daß die elektrischen Schwingungen sich nicht nur auf die Funkenstrecke beschränken, sondern daß sie sich auch im Raume fortpflanzen und daß man ferner die Frequenz der Wellen beeinflussen kann.

Die Periode der Schwingungen ist nämlich abhängig von der Kapazität des Kondensators im Schwingungskreis (vgl. Anhang 2, Kapazität), also von der Kapazität der Belegungen der Leydener Flasche oder der beiden Metallplatten C , weiter aber auch von der Selbstinduktion der Leiter im System.

Durch Vergrößerung von C kann man die Kapazität vergrößern und damit die Periode der Schwingungen, man erhält also langsamere Schwingungen. Schaltet man dagegen die beiden Platten C ab, so erhält man sehr rasche Schwingungen, da die Kapazität der beiden von der Funkenstrecke F ausgehenden geraden Leiter sehr klein ist.

Durch Einschalten der Spulen L in die geraden Leiter wird deren Selbstinduktion erhöht. Hierdurch wird wiederum eine Vergrößerung der Periode bewirkt. Man erhält also ebenfalls langsamere Schwingungen, die um so weniger schnell verlaufen, je größer die Selbstinduktion der beiden Spulen L ist. Bei geraden Leitern ohne die Spulen ist die Selbstinduktion sehr gering, man erhält in diesem Falle rasche Schwingungen mit kleiner Periode.

Man kann also durch eine Änderung der Kapazität und der Selbstinduktion des Systems die Frequenz der Schwingungen und damit die Wellenlänge beliebig verändern.

Die Schwingung beschränkt sich aber nicht nur auf die Funkenstrecke F und auf die von dieser ausgehenden Leiter, sondern sie verbreitet sich weiter nach allen Richtungen durch den Raum wie die Licht-

wellen von einer Lichtquelle. Hertz hat nachgewiesen, daß sich die elektrischen Schwingungen mit der Lichtgeschwindigkeit (300000 km/sec) durch den Raum fortpflanzen.

Stellt man in einiger Entfernung von dem schwingenden Primärsystem I (Abb. 2) mit dem Induktorium J und der Funkenstrecke F ein zweites Leitersystem II mit einer Funkenstrecke F_2 auf, so werden in letzterem durch Induktion ebenfalls Schwingungen erzeugt, die kleine Fünkchen bei F_2 zur Folge haben. Man kann die Wirkung erheblich verstärken, wenn man das sekundäre System auf die Schwingung des primären Systems abstimmt, d. h. indem man Resonanz herbeizuführen sucht.

Unter der Resonanz zweier schwingender Körper, z. B. zweier Stimmgabeln, versteht man die Übereinstimmung beider hinsichtlich ihrer Schwingungszahl.

Nun hängt aber die Frequenz elektrischer Schwingungen, wie oben besprochen, von der Kapazität und von der Selbstinduktion ab. Hertz gelang es bei den elektrischen Schwingungen Resonanz zu erzeugen. Durch Einschalten gleicher Kapazitäten und gleicher Selbstinduktionspulen in beide Systeme erzielte er eine Abstimmung und damit stärkere Wirkungen. Bei F_2 im sekundären System traten dann bei gleichbleibender Entfernung vom primären System kräftigere Funken auf, eine Folge stärkerer Schwingungen im System II .

3. Nachweis der Wellen im Raum. Branlyscher Kohärer.

Branly konstruierte zuerst einen brauchbaren Apparat zum Nachweis elektrischer Wellen im Raum. Sein Kohärer oder Fritter ist eine evakuierte Glasröhre, die zwischen zwei Elektroden mit feinen Metallspänen

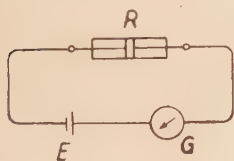


Abb. 3.

(Stahl, Nickel, Silber) angefüllt ist und einen hohen elektrischen Widerstand von etwa 1 bis 2 Millionen Ohm besitzt. Treffen elektrische Wellen auf diese Röhre, so sinkt ihr Widerstand erheblich herab, auf etwa 10–20 Ohm, es kann dann ein Strom von einem Element E (Abb. 3) durch ein Galvanometer G über die Röhre R verlaufen. Der Kohärer bleibt nach

dem Auftreffen der Wellen leitend und muß mechanisch erschüttelt werden, um wieder seinen hohen Widerstand zu erhalten und von neuem für elektrische Wellen empfindlich zu sein. Man nimmt an, daß beim

Auftreffen der Wellen sich kleine Fünkchen zwischen den Metallspänen bilden, die die leitende Verbindung bewirken. Hierbei werden die Metallteilchen leicht aneinander geschweißt (gefrittet) und können erst durch eine mechanische Erschütterung wieder getrennt werden.

Diesen Kohärer schaltet man nun statt der sekundären Funkenstrecke F_2 in das anzuregende sekundäre Schwingungssystem (Empfängersystem) ein. Es lassen sich jetzt in viel deutlicherer Weise elektrische Wellen, die von einem schwingenden Sendesystem ausgehen, erkennen.

4. Anordnung von Marconi.

Marconi führte den einen Draht des primären Systems (Sendesystem) von der Funkenstrecke F senkrecht nach oben (Abb. 4), der andere Draht wurde von F aus zur Erde geführt. Eine ähnliche Einrich-

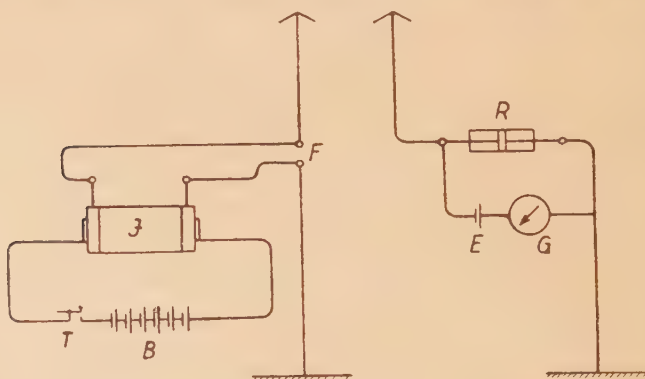


Abb. 4.

tung hatte früher schon Popoff zur Feststellung luftelektrischer Entladungen getroffen. Ebenso wurde bei dem sekundären System (Empfängersystem) der eine Pol des Kohälers R mit einem senkrecht nach oben stehenden Draht verbunden, während der andere Pol des Kohälers geerdet wurde. Die beiden senkrecht aufgerichteten Luftleiter wurden Sende- und Empfängerantenne genannt. Der Name Antenne ist aus der Zoologie entnommen.

Gehen nun elektrische Wellen von F und der Sendeantenne aus (Abb. 4), so treffen sie auf die Empfängerantenne und den Kohärer R .

Von dem Element E kann ein Strom durch den leitend gewordenen Kohärer zum Galvanometer G fließen, das durch seinen Zeigerausschlag anzeigt, daß elektrische Wellen von der Sendestation anlangen. Statt dieses Galvanometers kann man auch ein Relais einschalten, das eine starke Ortsbatterie über einen Morseschreiber schließt. Durch kürzeres oder längeres Niederdrücken einer Taste T im Primärkreis der Sendestation kann man bei F Funken von kürzerer oder längerer Dauer erzeugen und auf diese Weise Morsezeichen geben. Die von F und der Sendeantenne ausgehenden Wellenzüge kürzerer oder längerer Dauer beeinflussen den Kohärer auf der Empfangsstation und machen ihn für kürzere oder längere Zeit leitend, so daß kürzere oder längere Stromstöße durch den Morseschreiber von der Ortsbatterie verlaufen können. Ein Klopfer erschüttert nach dem jedesmaligen Auftreffen der Wellen den Kohärer und macht ihn nicht leitend und wiederum empfangsbereit.

5. Anordnung von Braun. Kondensatorkreis. Kopplung.

Für eine Überbrückung größerer Entfernungen eignete sich nun die eben beschriebene Vorrichtung nicht, da in ihr nur geringe Mengen elektrischer Energie erzeugt werden können, um in Form elektrischer Wellen von der Sendeantenne ausgestrahlt zu werden. Marconi vermochte im Jahre 1897 nur etwa 15 km weit zu telegraphieren.

Man kann zwar durch Vergrößerung der Induktoriumsspannung und durch Verlängerung der Funkenstrecke größere Energiemengen in die Sendeantenne schicken. Hierbei treten aber bald Verluste in der größeren Funkenstrecke auf, die neben der starken Dämpfung (vgl. Abschnitt 8 und Anhang 6, Dämpfung) diese Methode als aussichtslos erscheinen ließen.

Um nun größere elektrische Energiemengen aussenden zu können, muß man die Kapazität des Sendesystems vergrößern. Braun erreichte dies durch Einschalten von Kondensatoren (Leydener Flaschen) von großer Kapazität, die er durch das Induktorium aufladen und durch eine Funkenstrecke entladen ließ. Da, wie oben ausgeführt, die Periodenzahl der Schwingungen mit der Vergrößerung der Kapazität des schwingenden Systems abnimmt, erhielt man hier erheblich langsamere Schwingungen von größerer Periode wie bei der alten Anordnung von Hertz und Marconi. So zeigen die Wellen der Hertzschen Anordnung eine Wellenlänge von nur wenigen Zentimetern und Metern, während bei der Braunschen Anordnung Wellen von mehreren tausend Metern Länge erzeugt wurden.

Die Abb. 5 zeigt die Braunsche Anordnung. Durch das Induktorium J werden die Kondensatoren C (große Leydeher Flaschen) aufgeladen und durch die Funkenstrecke F entladen. In dem ganzen System verlaufen elektrische Schwingungen, da dasselbe jedoch geschlossen und nicht offen wie die Hertz'sche Schaltung, können diese Schwingungen keine wesentliche Wirkung in den umgebenden Raum ausüben. Diesem Übelstand kann man abhelfen, wenn man die Schwingungen des geschlossenen Kondensatorkreises auf ein offenes schwingungsfähiges System überträgt, z. B. auf eine Antenne, die dann die Wellen in den Raum weitergibt.

Braun nahm nun in der Weise eine Kopplung der Antenne mit dem Kondensatorkreis vor, daß er einmal eine sekundäre Spule II (Abb. 5),

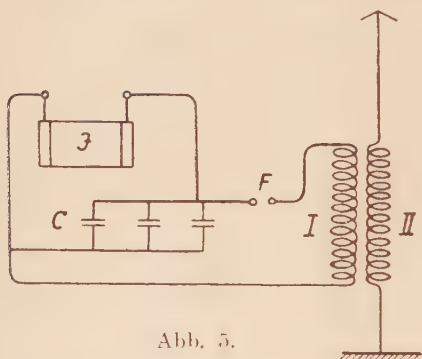


Abb. 5.

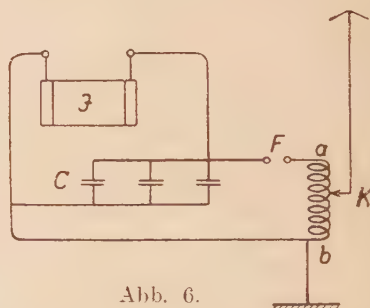


Abb. 6.

die einerseits mit der Antenne verbunden, andererseits geerdet ist, durch eine primäre Spule I des geschlossenen schwingenden Kondensatorkreises induktiv beeinflussen ließ. Man nennt dies indirekte oder induktive Kopplung.

Dann koppelte Braun die Antenne auch direkt mit dem Kondensatorkreis (Abb. 6), indem er die Antenne von einem verstellbaren Punkt der Spule a b , z. B. bei K abzweigte. Die Schaltung wird direkte oder galvanische Kopplung genannt.

Beim Sendesystem wird meist die letztere, beim Empfängersystem gewöhnlich die induktive Kopplung angewendet.

Als Kopplungsgrad bezeichnet man bei der direkten Kopplung den gemeinsamen Teil der Spulenwindungen von Kondensatorkreis und Antenne, das sind die in Abb. 6 zwischen K und b liegenden Spulenwindungen. Wäre der verstellbare Kontakt K der Antenne nach a hinauf-

gerückt worden, so wären die gesamten Spulenwindungen dem Kondensatorkreis und den Antennenzweig gemein. Der Kopplungsgrad wird in Prozent ausgedrückt. (Vgl. Anhang 7, Kopplungsfaktor, Kopplungsgrad.)

Bei der induktiven Kopplung geschieht die Veränderung des Kopplungsgrades durch Verschieben der beiden Spulen *I* und *II* (Abb. 5) gegeneinander. Die Anordnung ist so getroffen, daß die eine Spule in die andere ganz oder teilweise hineingeschoben werden kann.

Durch eine Änderung der Kopplung ändert man gleichzeitig die Selbstinduktion der Antenne und hiermit auch die Wellenlänge. Neben diesen beiden Kopplungsarten wird auch noch die elektrische oder kapazitive Kopplung verwendet (Abb. 7).

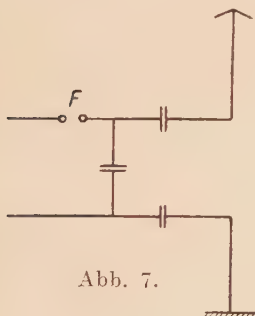


Abb. 7.

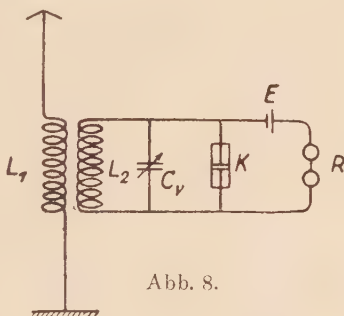


Abb. 8.

Bei der galvanischen und induktiven Schaltung wirkt ein veränderliches gemeinsames Feld zweier Spulen, bei der kapazitiven Kopplung wirkt dagegen die Änderung eines zwischen den Kondensatorbelegungen verlaufenden elektrischen Feldes.

Die Kopplung der Empfängerantenne geschieht gewöhnlich auf indirekte Weise, die Abb. 8 zeigt die Anordnung auf der Empfangsstation. L_2 ist eine veränderbare Selbstinduktionsspule in dem geschlossenen Empfängerkreis, die mit der Selbstinduktion L_1 des Antennenzweiges induktiv gekoppelt ist. C_v ist ein veränderbarer Kondensator (seine Veränderlichkeit wird durch den schräg liegenden Pfeil angedeutet) zur Veränderung der Eigenschwingung des geschlossenen Kreises. K ist der Kohärer, der mit einem Element E und dem Relais R einen besonderen Stromkreis bildet. Durch dies Relais kann ein weiterer Kreis mit einer stärkeren Batterie und einem Morseschreiber eingeschaltet werden.

6. Abstimmung zwischen den einzelnen Schwingungskreisen.

Jedes elektrisch schwingende System hat eine bestimmte Eigenschwingung, die abhängig ist von der Kapazität und von der Selbstinduktion, genau wie jeder schwingende tönende Körper seinen Eigenton hat.

Die Antenne, die eine bestimmte Eigenschwingung besitzt, soll bei der Braunschen Anordnung durch den geschlossenen schwingenden Kondensatorkreis, der ebenfalls eine gewisse Eigenschwingung hat, in Mitschwingen versetzt werden. Dies kann nun in günstiger Weise nur dann geschehen, wenn die Dauer der Eigenschwingungen des anregenden Kondensatorkreises und der anzuregenden Antenne übereinstimmt. Da die Schwingungsdauer aber von der Selbstinduktion und der Kapazität abhängt, muß man also beide Größen im Kondensatorkreis und im Antennenzweig gegeneinander abstimmen, falls zwischen beiden Kreisen Resonanz stattfinden soll.

Aber nicht nur Kondensatorkreis und Sendeantenne, sondern auch Empfangsantenne und Kohärerkreis, ebenso Sendesystem und Empfängersystem müssen auf die gleiche Schwingungsperiode gebracht werden.

Die Abstimmung erreicht man aber in einfacher Weise, indem man in die verschiedenen Kreise der Sende- und Empfangsstation veränderbare Selbstinduktionsspulen und veränderbare Kondensatoren einschaltet. Mit Hilfe derselben kann man nicht nur die Schwingungsdauer beliebig verändern und alle Kreise gegeneinander abstimmen, sondern man kann auch Wellen von beliebiger Länge von der Sendeantenne ausschicken und auf die ebenfalls abgestimmte Empfängerantenne einwirken lassen.

Slaby und Graf Arco haben zuerst diese Abstimmung vervollkommenet und dadurch erheblich stärkere Wirkungen erzielt.

7. Schaltung der Abstimmspulen und Abstimmkondensatoren.

Eine Schaltung mit veränderbarer Selbstinduktionsspule L_1 (Kopplungsspule) zeigt die Abb. 9. Liegt der verschiebbare Kontakt K_1 in der Stellung b , so hat man lange Wellen in dem geschlossenen Schwingungskreis (Kondensatorkreis), da die gesamte Selbstinduktion L_1 eingeschaltet, die Schwingungsdauer also vergrößert ist. Steht dagegen der Kontakt K_1 in der gestrichelt angegebenen Stellung bei a , so hat man kurze Wellen

im geschlossenen Kondensatorkreis, da nur eine sehr geringe Selbstinduktion eingeschaltet, die Schwingungsdauer also klein ist. Durch Verschiebung des Kontaktes K_1 zwischen den beiden Punkten a und b kann man also Wellen beliebiger Länge im Kondensatorkreis erzeugen.

Ebenso kann man die Sendeantenne durch eine veränderbare Selbstinduktion L_2 (Antennenverlängerungsspule) abstimmen, indem man durch den Kontakt K_2 Spulenwindungen zu- oder abschaltet und dadurch die Wellenlänge im Antennenzweig vergrößert oder verkürzt. Die Schaltung der Spule L_1 geschieht gewöhnlich durch einen Gleitkontakt, die der Spule L_2 mittels Steckkontakten.

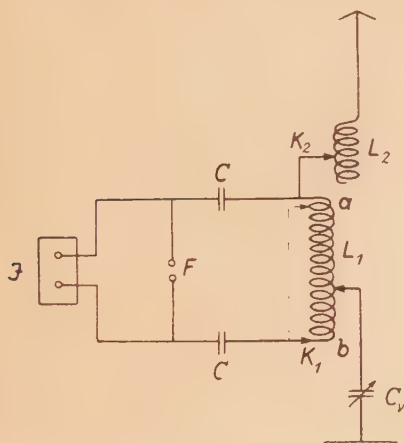


Abb. 9.

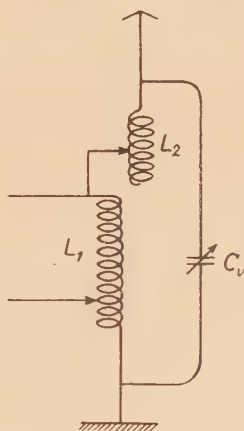


Abb. 10.

Die Wellenlänge der Antenne kann man auch durch einen veränderbaren Kondensator C_v verändern, der in die Erdleitung des Antennenzweiges eingeschaltet ist. In jedem Falle wird die Wellenlänge durch diesen Kondensator C_v verkürzt, da die Kapazität des Luftleiters und die des Kondensators C_v hintereinander geschaltet sind. Zwei in Reihe geschaltete Kondensatoren haben aber eine kleinere Kapazität als jeder der beiden Kondensatoren einzeln. (Vgl. Anhang 2, Kapazität.) Man erhält also, falls C_v in die Erdleitung der Antenne geschaltet, raschere Schwingungen mit kürzerer Periode im Antennenzweig. Als Verkürzungskondensatoren verwendet man eine Anzahl parallel geschalteter Leydener Flaschen.

Will man mit langen Wellen arbeiten, so entfernt man den veränderbaren Kondensator C_1 aus der Erdleitung der Antenne und schaltet ihn parallel zu den beiden Spulen L_1 und L_2 (Abb. 10). Hierdurch vergrößert man die Kapazität der Antenne, so daß man Schwingungen von großer Periode erhält. Man nennt diese Parallelkondensatorschaltung auch Schwungradschaltung, weil der parallel geschaltete Kondensator ähnlich wie ein Energiereservoir, z. B. wie das Schwungrad einer Maschine, wirkt.

Auf der Empfängerstation kann man nun ebenfalls die Abstimmung und Veränderung der Wellenlängen durch veränderbare Selbstinduktionsspulen und veränderbare Kondensatoren in der eben beschriebenen Weise vornehmen.

Die Feinabstimmung der Wellenlängen kann man weiter durch ein sogenanntes Variometer, eine ebenfalls veränderbare Induktionsspule, erreichen. Dies Variometer wird hinter die Antennenverlängerungsspule L_2 als Zusatzspule geschaltet.

Die Schaltung mit dem Parallelkondensator (lange Wellen) wird auch mit „lang“ bezeichnet, man erreicht mit ihr größere Lautstärken im Telefon der Empfangsstation, während die Schaltung mit dem Kondensator in der Antennen-erdleitung mit „kurz“ bezeichnet wird (kurze Wellen). Bei dieser Schaltung ist die Abstimmung schärfer.

8. Kopplungswellen. „Lose“ und „feste“ Kopplung.

In der Antenne verläuft nun die elektrische Welle von der Anstoßstelle, z. B. vom Punkte K des Antennen- und Zweiges aus (Abb. 6) nach oben und wird von dort in der Weise nach unten zurückgeworfen, daß eine der ersten Welle entgegengerichtete Schwingung verläuft. Hierbei bilden sich sogenannte stehende Schwingungen, wie man solche auch auf mechanische Weise, z. B. in einem schlaff gespannten Seil, erzeugen kann.

Der offene Antennen- und Zweig wird nun um so kräftiger in Schwingung versetzt werden, je vollständiger an ihn die Schwingungsenergie des geschlossenen Kondensatorkreises abgegeben wird. Sind nur wenige Spulenwindungen der beiden Kreise gemeinsam gekoppelt („lose“ Kopplung), so wird wenig Energie vom Kondensatorkreis auf die Antenne übertragen. Sind dagegen viele Windungen beiden Kreisen gemein („feste“ Kopplung), so wird viel Energie an die Antenne abgegeben.

Da man nun möglichst große Energiemengen ausstrahlen möchte, würde man die „feste“ Kopplung vorziehen, wenn bei dieser sich nicht

eine schädliche Beeinflussung beider Schwingungskreise bemerkbar machen würde.

Hat man nämlich den geschlossenen Kondensatorkreis und den offenen Antennenast gegeneinander abgestimmt (vgl. Abschnitt 7), so ergibt sich in der Praxis, daß man doch keine vollständige Resonanz erreichen kann. Man erhält in dem zusammengekoppelten System Kondensatorkreis-Antennenast zwei Schwingungen von nicht gleicher Schwingungsdauer, also von verschiedener Wellenlänge λ_1 und λ_2 .

Dies ist aber eine Folge der gegenseitigen Rückwirkung (Induktion) der beiden Kreise aufeinander, die zumal bei der induktiven Kopplung (Abb. 5) groß ist. Aber auch bei der galvanischen Kopplung (Abb. 6) kann die gegenseitige Induktion ziemlich stark werden, wenn, wie schon oben erwähnt, die Antenne und der geschlossene Kondensatorkreis „fest“ gekoppelt sind. Dies würde z. B. der Fall sein, wenn in der Abb. 6 die Antenne bei dem Punkt *a* abzweigen würde. Die Induktionsspule ge-

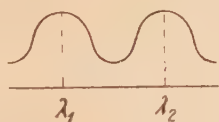


Abb. 11 a.

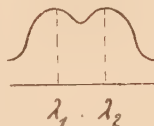


Abb. 11 b.

hörte dann nicht nur vollständig zum Kondensatorkreis, sondern sie läge gleichzeitig auch ganz im Antennenast, der von dem eigentlichen Luftleiter bis zur Erdleitung reicht. Würde man den Kontakt *K* ganz nach unten bis zum Punkt *b* (Abb. 6) verschieben, so hätte man eine möglichst „lose“ Kopplung, die Spule gehörte hier allein dem geschlossenen Kondensatorkreis an. Bei letzterer Kopplung ist die gegenseitige induktive Rückwirkung beider schwingender Kreise aufeinander nicht so erheblich.

Die beiden entstehenden Senderwellen λ_1 und λ_1 liegen nun um so weiter auseinander, je „fester“ die Kopplung ist (Abb. 11 a). Diese Doppelwelligkeit ist für die Abstimmung äußerst störend. Bei „loser“ Kopplung fallen beide Senderwellen um so mehr zusammen, je „loser“ die Kopplung ist (Abb. 11 b). Letztere Kopplung ist für den Empfang vorzuziehen, da sie aber für die Energieübertragung vom geschlossenen Kondensatorkreis auf den Antennenast weniger günstig ist, so wählt man eine mittlere Kopplung zwischen 50% und 200%. (Vgl. Anhang, Abschnitt 7: Kopp-
Windmüller, Drahtlose Telegraphie.

lungsfaktor, Kopplungsgrad.) Bei dieser mittleren Kopplung erhält man nun eine günstige Empfangslautstärke. Mit dem Klapptransformator der Gesellschaft „Telefunken“ kann man die Kopplung in einfacher Weise schnell verändern. Die Sendedrahtspule ist festliegend angeordnet, während die Spule des geschlossenen Kreises über die erstere geschoben werden kann. Will man sehr „lose“ koppeln, so kann man die letztere Spule von der Sendedrahtspule fortziehen. Hierdurch wird die gegenseitige induktive Beeinflussung beider Spulen sehr gering.

9. Dämpfung im geschlossenen Kondensatorkreis.

Neben der Reinheit der elektrischen Schwingungen hängt die Abstimmbareit derselben noch von der Dämpfung ab. Letztere ist aber abhängig von den Energieverlusten im Schwingungskreis. Diese sind wiederum bedingt durch die Entwicklung von Wärme in den Leitern, durch den Widerstand der Funkenstrecke, durch das Isolationsmaterial der Kondensatoren (die Dämpfung wächst mit der Belastung und mit der Temperatur der Kondensatoren), durch das Sprühen der Kondensatoren bei hoher Spannung, durch Wirbelstrom- und Hysteresisverluste in den Metall- und Eisenteilen, durch Energieverluste an benachbarte Kreise und in den Raum. Die größten Verluste hat man in der Funkenstrecke.

Die in den Kondensator bis zum Augenblick der Entladung aufgeladene Energie hat nun eine ganz bestimmte Größe, die von der Größe des Kondensators und von der Funkenlänge abhängt.

Solange der Funke besteht, würde eine neue Zuführung von elektrischer Energie aus dem Kondensator zwecklos sein, die Entladung würde einfach über die gut leitende Funkenstrecke vor sich gehen. Erst wenn der Funke erloschen, kann eine neue Aufladung der Antenne erfolgen. Es können daher in der Sekunde nur soviel Ladungen folgen, wie Funken in dieser Zeit übergehen, dies waren bei den alten Apparaten etwa 50 in der Sekunde.

Durch Abkühlung kann man die Leitfähigkeit der Funkenstrecke verringern, es lassen sich dann raschere Funkenfolgen in der Sekunde und hiermit häufigere Aufladungen der Antenne erzielen.

10. Gedämpfte Wellen.

Bei den gedämpften Wellen, die bei den bisher angenommenen offenen Funkenstrecken entstehen, beobachtet man eine Abnahme der Schwingungsweiten. Erfolgt diese Abnahme schnell, so spricht man von

stark gedämpften, erfolgt sie langsamer, von schwach gedämpften Wellen.

Jeder in der Funkenstrecke übergehende Funke läßt einen schnell anwachsenden Wellenzug entstehen (Abb. 12), der sich allmählich abschwächt. Diese Schwingungen versetzen den angeschlossenen offenen Antennenzweig in Mitschwingen und werden dann weiter von der Sendeanenne in den Raum ausgestrahlt. Die Aufeinanderfolge der einzelnen Wellenzüge hängt von der Funkenfolge ab. Bei 50 Funkenübergängen in der Sekunde folgen die einzelnen Wellenzüge einander in je $\frac{1}{50}$ Sekunde. Jeder einzelne Wellenzug besteht aus etwa 10–20 Schwingungen.

Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wellenzügen liegt aber eine Pause, die etwa 400mal länger als die Schwingungsdauer einer einzelnen Wellengruppe ist. In dieser langen Zwischenpause werden die Kondensatoren neu aufgeladen, dieselbe ist für die Energieaussendung eine verlorene Zeit.



Abb. 12.

Als Dämpfungsfaktor (vgl. Anhang, Abschnitt 6, Dämpfung) wird das Verhältnis zweier um eine ganze Welle auseinanderliegenden Schwingungsweiten, d. i. das Verhältnis zweier Höchstwerte, bezeichnet. Dieses Verhältnis ist konstant. Statt desselben verwendet man auch als Maß

seinen natürlichen Logarithmus und spricht von dem logarithmischen Dekrement der Dämpfung.

Je größer aber nun die Dämpfung der Schwingungen ist, um so schwerer kann man in einem zweiten Schwingungskreis Resonanz erzielen.

11. Ungedämpfte Wellen. Anordnungen von Duddell und von Poulsen.

Die beiden Nachteile des Braunschen Systems, Doppelwellen und starke Dämpfung, konnten durch eine neue Erfindung beseitigt werden. Schon Thomson und Duddell hatten gefunden, daß ein Gleichstrom-Lichtbogen einen schwingungsfähigen Kreis ebenfalls in Schwingungen zu versetzen vermag.

Legt man parallel zu einem elektrischen Lichtbogen F (Abb. 13), der durch Gleichstrom erzeugt wird, einen Wechselstromkreis, der aus

einem Kondensator C und einer Selbstinduktionsspule L besteht, so kann unter gewissen Bedingungen der Lichtbogen schwingen und tönen. gleichzeitig entsteht in dem Kondensatorkreis ein Wechselstrom.

Bei dieser Anordnung wirkt der Lichtbogen F ebenso wie die alte Funkenstrecke, gewissermaßen wie ein Ventil, das den Schwingungskreis automatisch abwechselnd öffnet und schließt und hierdurch bewirkt, daß die durch eine angeschlossene Antenne in den Raum ausgestrahlte Energie dauernd von der Gleichstromquelle ersetzt wird.

Der Widerstand eines solchen Lichtbogens nimmt aber ab, wenn die Lichtbogenstrecke durch anwachsenden Strom heißer wird, damit sinkt auch die Spannung an den Klemmen des Lichtbogens. In der Anordnung der Abb. 13 fließt nun mit dem Strom, der den Lichtbogen speist, zugleich

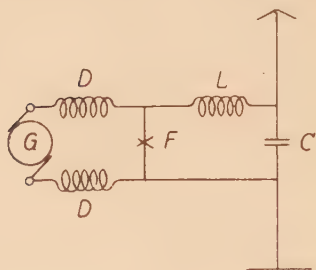


Abb. 13.

ein Strom, der den Kondensator C ladet. Im Augenblick des Entstehens des Lichtbogens F fällt die Spannung an den Lichtbogenklemmen, während die augenblicklich höhere Kondensatorspannung einen Entladungs-



Abb. 14.

stromstoß von der einen Kondensatorbelegung über den Flammbogen F zur anderen Belegung übergehen läßt. Dieser Stromstoß hat die gleiche Richtung wie der Strom im Lichtbogen, verstärkt also letzteren. Hierdurch wird die Lichtbogenstrecke heißer, d. h. besser leitend, ihr Widerstand wird also verringert und damit auch die Spannung an den Flammbogenklemmen. Der Kondensator entladet sich nun noch weiter, um auf die geringere Spannung des Lichtbogens zu kommen, hierbei werden seine Belegungen entgegengesetzt elektrisch. Jetzt verläuft ein Stromstoß vom Kondensator in der entgegengesetzten Richtung des Lichtbogenstromes, kühlt die Flammbogenstrecke ab und erhöht damit die Klemmenspannung bei F . Diese Spannungserhöhung durch den rückflutenden Stromstoß hat wiederum eine neue Aufladung des Kondensators im entgegengesetzten Sinne zur Folge, usf.

Die elektrische Energie schwingt also in dem Kondensatorkreis über L

und F dauernd hin und her, d. h. ein Teil des Gleichstromes wird in Wechselstrom mit konstanter Schwingungsweite umgewandelt. Die Drosselspulen D , die in den Maschinenkreis geschaltet, verhindern, daß der Wechselstrom in den Gleichstromkreis eintritt.

Durch das gleichmäßige Zuströmen von elektrischer Energie von der Maschine G her werden die durch die Dämpfung entstehenden Verluste dauernd ersetzt und so entstehen in dem Kondensatorkreis ungedämpfte Schwingungen (Abb. 14), die man auf einen angeschlossenen Sendedraht einwirken lassen kann. Bei diesen Schwingungen findet keine Änderung der Schwingungsweite statt.

Man hat diese Vorgänge oft mit den Schwingungen eines Uhrpendels verglichen. Die Spannung der Uhrfeder ist ähnlich der dauernd gelieferten Gleichstromenergie der Maschine, die Tätigkeit der Hemmung der Uhr ist zu vergleichen mit der des Lichtbogens.

Duddell erreichte bei seiner Anordnung bis zu 40000 Schwingungen in der Sekunde, die gegen die äußerst raschen Schwingungen der alten Wellentelegraphie von mehreren Millionen in der Sekunde als ziemlich gering anzusehen sind.

Poulsen gelang es, indem er den Lichtbogen in einer Wasserstoffatmosphäre brennen ließ, die er aus auf die heißen Kohlen herabtropfen den Spiritus bildete, eine erheblich höhere Schwingungszahl zu erreichen. Wasserstoff hat eine größere Wärmeableitungsfähigkeit als Luft, die schnellere Abkühlung der heißen Gase in der Lichtbogenstrecke läßt diese schneller ihre elektrische Leitfähigkeit verlieren und gestattet so eine schnellere Folge der Aufladungen des Sendedrahtes.

Mit der lebhafteren Geschwindigkeit der Wasserstoffatome hängt aber nicht nur ihre große Leitfähigkeit für die Wärme zusammen, sondern auch ihre größere Ionisierungsgeschwindigkeit. Solange nämlich eine Funkenstrecke ionisiert ist, d. h. solange sich durch den anfänglichen Funken Ionen gebildet haben, solange kann auch infolge der Schwingung im System der Funke weiter übergehen und der Kreis länger in Schwingung bleiben, bis dies endlich durch die Dämpfung verhindert wird. Wird dagegen die Funkenstrecke schnell entionisiert, ehe die Spannung wieder ihren Höchstwert erreicht hat, so entsteht kein neuer Funke, der Schwingungskreis bleibt nach Ablauf der ersten Schwingung ruhig. Die Wirkung der Wasserstoffatmosphäre der Poulsenschen Anordnung ist daher nicht nur eine thermische, sondern auch eine elektrische.

Auch durch eine gekühlte hohle Kupferanode hat Poulsen eine

weitere Abkühlung des Lichtbogens und damit weitere günstigere Wirkungen erzielt. Die negative Kohlenelektrode ließ er durch einen kleinen Motor sich langsam drehen, um einen gleichmäßigen Abbrand der Kohle und damit ein ruhiges Brennen des Lichtbogens zu erhalten. Zur Speisung des letzteren hat man besondere Generatoren gebaut mit Leistungen bis zu 20 KW. In neuerer Zeit ist von der C. Lorenz-A.-G. ein 32 KW.-Poulsen-Sender gebaut. Bei diesem liegen die Elektroden in einer gekühlten sogenannten Flammenkammer, sie bestehen beide aus Kohle und werden beide gedreht. Gewöhnlich werden jedoch 4 KW-Sender verwendet.

Damit nun der Lichtbogen nicht zu leicht abreißt, muß der Elektrodenabstand der Funkenstrecke gering sein. Andererseits soll aber die Bogenlänge groß sein, um genügend Energie der Sendeantenne zuführen zu können. Poulsen läßt nun den Lichtbogen in einem Magnetfeld brennen, das er durch den Lichtstrom selber erzeugt. Der Lichtbogen wird als beweglicher Leiter durch das magnetische Feld elektrodynamisch beeinflusst und nach oben bewegt, also verlängert. Auf diese einfache Weise wurde eine möglichst große Flammbogenlänge bei kleinem Elektrodenabstand erreicht.

Poulsen erhielt mit seiner neuen Anordnung ungedämpfte Schwingungen (etwa 150000 in der Sekunde), die eine äußerst scharfe Abstimmung zuließen.

Bei dieser Methode hatte man nun nicht so hohe Spannungen wie bei der Hertzschen nötig, um die elektrische Energie in den Raum hinauszusenden. Für die Lichtbogenspannung benötigte man z. B. nur 440 Volt. Trotz dieser erheblich geringeren Spannung ist aber die ausgestrahlte Energie nicht geringer, da die in der gleichen Zeit ausgesandte Zahl der nutzbaren Schwingungen viel tausendmal größer ist, als bei der alten Methode mit der offenen Funkenstrecke.

Ungedämpfte Wellen hat man auch durch besondere Hochfrequenzmaschinen erzeugt. Goldschmidt, die Gesellschaft „Telefunken“, Graf Arco u. a. haben derartige Maschinen gebaut. Auf diese Maschinen soll hier nicht näher eingegangen werden. Trotz mancher Schwierigkeiten hat man für die Telegraphie auf große Entfernungen gute Erfolge erzielt. Die Großstation „Nauen“ arbeitet mit einer derartigen Hochfrequenzmaschine bei einer Wellenlänge von 4700 m.

12. Wellenanzeiger.

Als Wellenanzeiger oder Detektoren verwendet man solche mit losen Kontakten, elektrolytische Detektoren, Thermodetektoren und magnetische Wellenanzeiger.

a) Der schon oben erwähnte Kohärer oder Fritter (Abb. 3) ist ein Empfänger mit losen Kontakten, er ist wenig zuverlässig, zu unempfindlich, verlangt sehr hohe Funkenspannungen und benötigt eine verwickelte Schaltung mittels eines empfindlichen Relais und eines Klopfers. Zur Betätigung eines Morseschreibers ist der Kohärer gut verwendbar, eignet sich dagegen nicht für Telefonbetrieb.

b) Der elektrolytische Detektor von Schlömilch besteht aus zwei Platinelektroden, die in verdünnte Schwefelsäure eintauchen. Die eine Elektrode besteht aus einem stärkeren Platindraht, während die andere einen sehr dünnen Draht darstellt, der von einem Glasröhrchen umgeben ist, und nur mit einer sehr feinen Spitze in die Flüssigkeit taucht. Die

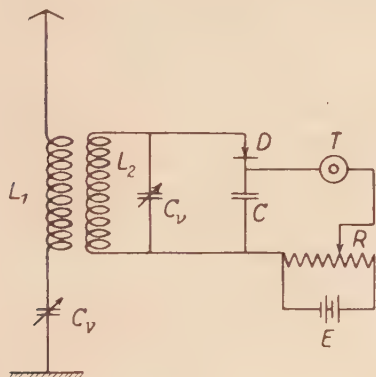


Abb. 15.

Zelle ist an eine kleine Batterie von etwa 2,5—3 Volt Spannung gelegt. Bei einer bestimmten Überspannung, die durch die auftretenden Wellen erreicht wird, wird die verdünnte Schwefelsäure zersetzt und es bilden sich an den Elektroden Sauerstoff und Wasserstoff. Hierdurch erfolgt eine Stromunterbrechung, die solange andauert, bis die Gasbläschen durch den Auftrieb von den Elektroden emporsteigen. In einem hinter die Zelle geschalteten Telephonhörer (Abb. 15) wird man ein Geräusch vernehmen, das abhängig ist von der Zahl der Unterbrechungen in der Zelle. Man reguliert nun die an der Zelle liegende Spannung von 3 Volt so, daß jedes Geräusch verschwindet, wenn keine Wellen auftreffen. Treffen jedoch Wellen auf die Zelle, so ist jede zweite Halbwelle der an der Zelle liegenden Batteriespannung gleichgerichtet und bewirkt einen kurzen Stromstoß durch die Zelle. Die gegengerichteten halben Wellen schwächen dagegen

die Spannung der Hilfsbatterie und erzeugen keinen Stromstoß. Beim dauernden Auftreffen von Wellen wird dann im Telephonhörer ein Gleichstrom verlaufen. Die Membran des Telephons kann natürlich der hohen Schwingungszahl dieser Wellen nicht folgen. Sie wird dagegen beeinflußt durch die Frequenz der Funkenfolge.

c) Die Kontakt- oder Thermoellen bestehen aus einem Stift aus Graphit, Tellur, Bronze oder Gold, der gegen ein Mineral, z. B. Bleiglanz, Kupferkies gedrückt wird. Man kann auch eine Karborundspitze gegen eine Stahlfläche pressen. Treffen Wellen auf die Berührungsstelle, so wird dieselbe erwärmt und beide Elektroden der Zelle wirken als Thermo-element, das einen Gleichstrom aussendet. Der vom Empfänger auf-

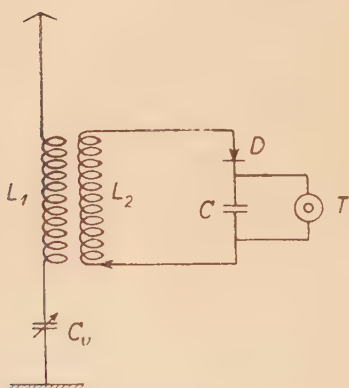


Abb. 16.

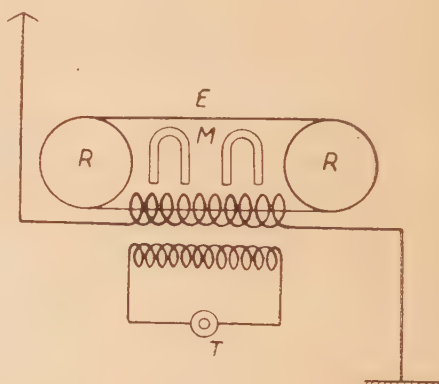


Abb. 17.

genommene Wellenstoß hat also in einem solchen Detektor einen Gleichstromstoß zur Folge, der sich im Telephonhörer als ein Knacken bemerkbar macht. Eine bestimmte Funkenfolge auf der Sendestation läßt dabei im Hörer der Empfängerstation einen bestimmten Ton je nach der Funkenzahl entstehen. Eine Hilfsbatterie wie bei der Schlömilchzelle ist bei den Thermodektoren nicht nötig (Abb. 16).

d) Die magnetischen Wellenanzeiger sind unempfindlicher als die elektrolytischen und die Thermodektoren, dagegen weniger leicht zerstörbar. Der Magnetdetektor von Marconi (Abb. 17) besteht aus einem Eisenband E ohne Ende, das über zwei drehbare Rollen R an zwei Magneten M durch eine Spule vorüberläuft und hierbei an der den Magneten gegenüberliegenden Seite magnetisiert wird. Die Spule ist einmal mit der

Empfängerantenne verbunden, während ihr anderes Ende geerdet ist. Die von der Antenne aufgenommenen Wellen beeinflussen die magnetisierte Seite des umlaufenden Eisenbandes. Hierbei werden in einer Induktionsspule, die mit einem Telephonhörer T verbunden ist, Stromstöße erregt, die sich im Hörer bemerkbar machen.

Fritter und Schlömilchzelle werden auch als Spannungszellen bezeichnet, die Kontaktzellen auch als Stromzellen und die magnetischen Wellenanzeiger als Induktionzellen.

e) Neben diesen elektrischen Detektoren verwendet man auch noch mechanische Detektoren. Von diesen ist der gebräuchlichste der Ticker. Er ist im wesentlichen ein schnell arbeitender Unterbrecher, welcher aus dem in Schwingung befindlichen Empfängerkreis in bestimmten Zeitintervallen die aufgesammelte Energie in einen Kondensator der parallel zum Telephon geschaltet, überströmen läßt (Abb. 21). Die Ladung dieses Kondensators verläuft dann als Stromstoß durch den Telephonhörer.

f) Ebenso wie der Ticker wirkt der Schleifer. Sein wesentlicher Teil ist ein beweglicher Kontakt, der aus einer umlaufenden rauhen, oxydierten Messingscheibe und einem auf dieser schleifenden feststehenden Platindraht besteht. Zwischen der umlaufenden rauhen Scheibe und dem auf ihr schleifenden Draht erfolgt die Unterbrechung. Das Umlaufen der Scheibe erfolgt durch ein Uhrwerk, das arretiert werden kann. Das An- und Abschalten des Telephonhörers erfolgt in kurzen Zeitintervallen für sehr kurze Zeiten an den schwingenden Empfängerkreis. Hierbei verläuft die in dem parallel zum Telephon liegenden Kondensator angesammelte elektrische Energie zeitweilig durch den Telephonhörer und regt diesen zum Schwingen an. Die Unterbrechungen des Schleifers sind erheblich häufiger als die des Tickers, es sammelt sich daher bei der Verwendung des Schleifers erheblich weniger Energie im Schwingungskreis an als beim Ticker.

13. Schaltung der Wellenanzeiger. Einrichtung der Empfängerstation.

Die Schaltung der Frittröhre ist aus der Abb. 8 zu ersehen.

Die Abb. 15 zeigt die Schaltung der elektrolytischen Zelle auf der Empfängerstation. L_1 und L_2 sind die beiden Selbstinduktionsspulen des Antennen- und des Schwingungskreises, C_p , C_r sind veränderbare Kondensatoren in den beiden gleichen Kreisen, E ist die durch R regulierbare

Hilfsbatterie (Potentiometer) und D die elektrolytische Zelle. T ist der Telephonhörer und C ein sogenannter Blockkondensator, parallel zum Telephon geschaltet. Die Hochfrequenzschwingungen verlaufen wohl durch C aber nicht durch den von Gleichstromstößen durchflossenen Telephonzweig mit seiner ziemlich hohen Selbstinduktion.

Die Schaltung der Kontakt- oder Thermozele zeigt die Abb. 16. Die Buchstabenbezeichnung ist die gleiche wie für die Abb. 15. Eine Hilfsbatterie ist bei dieser Zelle nicht nötig.

Der Kopplungsgrad der beiden Spulen L_1 und L_2 der Empfängerstation (Abb. 16) kann durch Entfernung oder Annäherung derselben verändert werden.

Der Ticker wird ebenso wie die Stromzelle D in der Abb. 16 geschaltet, das weitere ist aus der Abb. 21 für die Empfängerschaltung mit Ticker nach Poulsen zu ersehen.

Die Schaltung der Abb. 16 zeigt nun einen geschlossenen Schwingungskreis, der nicht abstimmbar ist, da hier der der Induktionsspule L_2 parallel geschaltete veränderbare Kondensator C' der Anordnung in der Abb. 15 fehlt. Man nennt diesen in der Abb. 16 dargestellten Kreis, der aus der Spule L_2 , der Thermozele D und dem Blockkondensator C besteht, einen aperiodischen Kreis, weil derselbe keine ihm eigentümliche Schwingungszahl besitzt. Der Blockkondensator C ist so bemessen, daß er die Schwingungen ungehindert hindurchgehen läßt. Die von der Thermozele D ausgehenden Gleichstromstöße verlaufen wie die Schwingungen durch die Spule L_2 , jedoch nicht durch den Blockkondensator C , sondern weiter durch das parallel liegende Telephon T , das wegen seiner hohen Selbstinduktion wiederum die Hochfrequenzströme nicht hindurchläßt.

Neben dem Widerstand der Thermozele D hängt das für den Empfang günstigste Verhältnis zwischen den Windungszahlen der beiden Induktionsspulen L_1 und L_2 von der ankommenden Wellenlänge ab. Man hat daher die Einrichtung getroffen, daß man die Windungszahl der Spule L_2 durch Steckkontakte verändern kann. Je größer die ankommenden Wellenlängen sind um so mehr Windungen muß man bei L_2 einschalten.

Man verwendet auch vielfach eine Schaltung mit Zwischenkreis. Letzterer ist induktiv zwischen den abstimmbaren Antennenkreis und den ebenfalls induktiv gekoppelten aperiodischen Kreis geschaltet (Abb. 18). Bei dieser Methode ist eine feinere Abstimmung wegen der geringen Dämpfung des Zwischenkreises möglich. (Vgl. Anhang 6, Dämpfung.)

Der Antennenkreis wird auf die auftreffenden Wellen durch die stufenweise veränderbare Selbstinduktion L_1 und den veränderbaren Drehkondensator C_v abgestimmt. Letzterer kann wiederum je nach der Wellenlänge mit der Spule L_1 hintereinander geschaltet werden (Schaltung „kurz“) oder parallel nach der Schwungradschaltung (Schaltung „lang“), wie dies schon im Abschnitt 7 beschrieben ist (vgl. die Abb. 9 und 10). Beide Wellenbereiche überdecken sich zum Teil. Bei der Hintereinanderschaltung hat man eine größere Abstimmungsschärfe und geringere Störungsmöglichkeit, bei der Parallelschaltung (Schwungradschaltung) ist dagegen die Lautstärke größer.

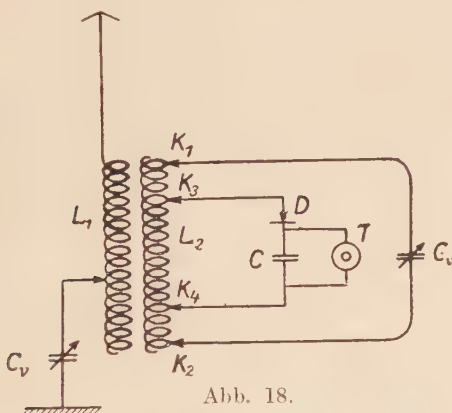


Abb. 18.

Der Zwischenkreis besteht aus der veränderbaren Spule L_2 und einem ebenfalls veränderbaren Kondensator C_v , er ist also ein geschlossener abstimmbarer Schwingungskreis. Da in ihm keine Verluste stattfinden, ist seine Dämpfung sehr gering und die Abstimmungsschärfe groß. Der Zwischenkreis nimmt von dem schon abgestimmten schwingenden Antennenkreis nur Wellen von einer ganz bestimmten Länge auf und erhöht dadurch die Störungsfreiheit der Station erheblich. Das Zu- und Abschalten von Windungen der Induktionsspule L_2 geschieht durch die Kontakte K_1 und K_2 (Abb. 18).

Der aperiodische Detektorkreis besteht wiederum aus der Zelle D und dem Blockkondensator C , zu letzterem ist der Telephonhörer T parallel geschaltet.

Der Detektorkreis ist mit dem Zwischenkreis in der Weise ge-

koppelt, daß durch die Kontakte K_2 und K_1 eine größere oder kleinere Zahl Spulenwindungen von L_2 beiden Kreisen gemeinsam gemacht werden kann.

14. Poulsen-Station für drahtloses Fernsprechen.

Schaltet man ein Mikrophon direkt oder indirekt in einen Poulsen-schen Schwingungskreis, so kann man durch Hineinsprechen in das Mikrophon die ungedämpften Wellen beeinflussen. Beim Hineinsprechen wird der Mikrophonwiderstand verändert und damit werden entsprechend

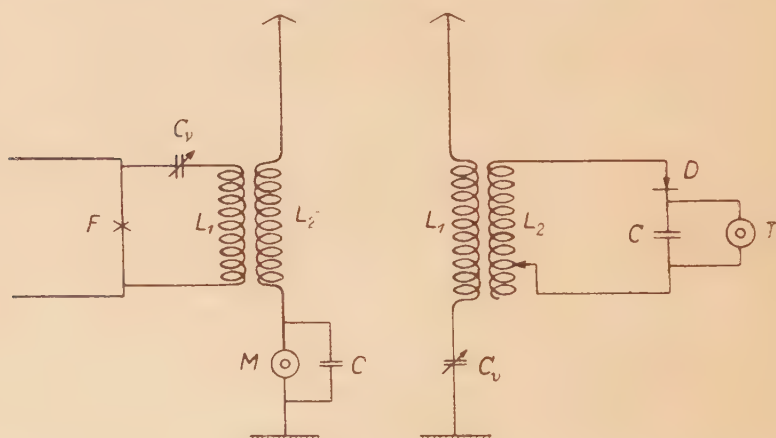


Abb. 19.

die ungedämpften Schwingungen, die weiter von der Sendeantenne aus gestrahlt werden, verändert. In den Raum pflanzen sich also Schwingungen fort, die den in das Mikrophon hineingesprochenen Tönen entsprechen, und die von der Empfängerantenne aufgenommen, dort einen Telephonhörer in gleiches Mitschwingen versetzen und entsprechend als Schallwellen hörbar werden.

Durch das Telephon fließt im Ruhezustand kein Strom, erst wenn Schwingungen auf den vorgeschalteten Thermodetektor treffen, werden entsprechend den in das Mikrophon hineingesprochenen Lauten Thermoströme erzeugt, welche den Telephonhörer beeinflussen.

Die Schaltung eines Senders und eines Empfängers einer Poulsen-Station zeigt die Abb. 19. F ist der Flammboogen, C_v ein veränderbarer Kondensator, L_1 die Selbstinduktionsspule des Schwingungskreises. Induktiv mit letzterem Kreis gekoppelt ist die Sendeantenne; M ist ein Starkstrom-Mikrophon, C ein zu diesem parallel geschalteter Kondensator, der auch durch eine geeignete Selbstinduktion ersetzt werden kann. Auf der Empfängerstation ist L_2 eine Selbstinduktion, C_v eine veränderbare Kapazität zur Veränderung der Wellenlänge in der Antenne, und D die Thermozele. Parallel zu dem Blockkondensator C liegt das Telephon T .

15. Telegraphie mit ungedämpften Wellen.

Das Geben von Morsezeichen mit der Taste kann bei der Anordnung von Poulsen nicht unmittelbar durch einfaches Ein- und Ausschalten des gesamten Sendestromes vorsichgehen, da der Flammboogen hierbei er-

löschen würde und nicht so rasch wieder gezündet werden könnte. Man läßt daher den Flammboogen ununterbrochen brennen und legt die Taste in den Antennenkreis, indem man entweder mit Verstimmung arbeitet oder mit einem besonderen Tasterkreis. Die Sendeantenne schickt also dauernd Wellen aus, während man durch Niederdrücken der Taste die Wellenlänge des Sendedrahtes ändert.

Die Abb. 20 zeigt die Schaltung bei der Verstimmungsmethode. G ist ein Generator, D sind die Drosselspulen (vgl. Abb. 13), L ist eine

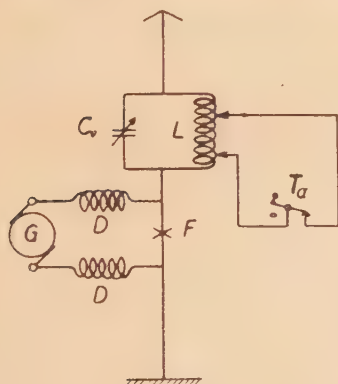


Abb. 20.

Selbstinduktionsspule, C_v ein veränderbarer Kondensator und F der Flammboogen. C_v und L liegen im Antennenkreis. Durch die Taste T_a wird in ihrer Ruhestellung ein Teil der Windungen der Selbstinduktionsspule L kurz geschlossen. Hierdurch wird infolge der Verringerung der Selbstinduktion des Antennenkreises eine Verkürzung der Sendewelle erzielt. Sobald nun die Taste niedergedrückt wird, wird der Kurzschluß

der Spulenwindungen bei L aufgehoben und es wird eine längere Welle ausgesandt. Auf diese längere Welle ist aber die Empfangsstation abgestimmt. Da auch in den Morsepausen Wellen ausgestrahlt werden, hat man zu unterscheiden zwischen Verstimmungswellen und Sendewellen.

Unterscheiden sich die Verstimmungswelle (negative Welle) und die Sendewelle (positive Welle) nur sehr wenig voneinander, so ist das Mit-hören für eine fremde Station fast unmöglich. Die Empfangsstation muß hierbei allerdings auf die richtige Sendewelle sehr scharf abgestimmt sein.

Diese von den amerikanischen Poulsonstationen angewendete Methode eignet sich wohl für kleine Stationen. Ein Nachteil besteht darin, daß die

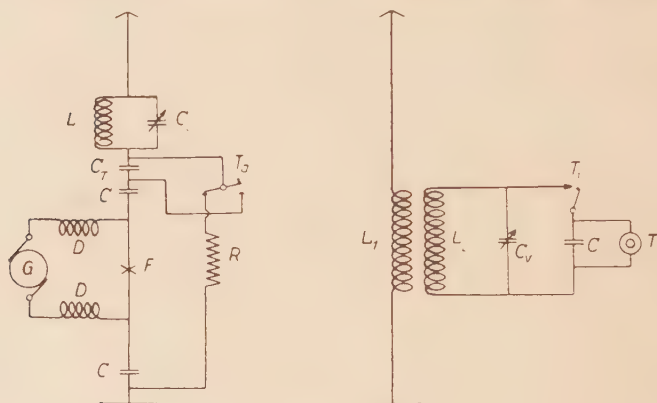


Abb. 21.

Tastenkontakte eine ziemlich große Strombelastung haben und dadurch einmal stark abgenutzt werden, weiter kann sich aber auch eine mangelhafte Zeichengebung bemerkbar machen. Für große Energieübertragungen hat sich das Tasten mit Verstimmung als nicht geeignet erwiesen.

Die Schaltung mit dem besonderen Tastkreis, ebenso die Empfängerschaltung ist in der Abb. 21 dargestellt. Die Kapazität der Antenne und damit die Wellenlänge vergrößert man hier nicht ausschließlich durch eine Verlängerungsspule im Antennenweig, sondern man wendet die schon im Abschnitt 7 beschriebene Schwungradschaltung an.

In ihrer Ruhestellung wird durch die Taste T_a (Abb. 21) ein Verbrauchskreis, der sogenannte Tasterkreis, in den Antennenweig geschaltet. Dieser Tasterkreis besteht aus einem Kondensator C_T und

einem Widerstand R . Die Antenne und die Erdleitung sind durch diesen Widerstand R kurz geschlossen. Die vom Flammbogen F ausgehende Energie wird hierbei durch den Tasterkreis verbraucht und nicht durch die Sendeantenne in den Raum ausgestrahlt. Drückt man nun die Taste nieder, so wird der Kondensator C_T kurz geschlossen, die Widerstandsspule R wird ausgeschaltet und die vom Lichtbogen F ausgehende Energie wird vollständig an die Sendeantenne abgegeben.

Wie bei den alten Funkenstationen werden hier also nur dann Wellen ausgesandt, wenn die Taste Ta niedergedrückt wird. Die Methode gestattet ein sehr rasches Handtasten und hat sich durchaus bewährt.

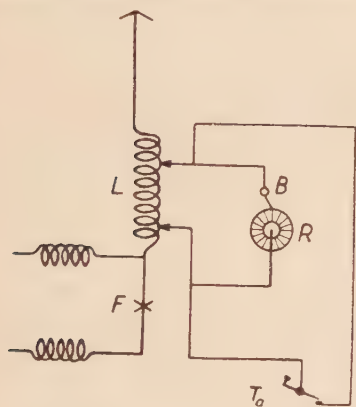


Abb. 22.

L , L_1 , L_2 sind Selbstinduktionsspulen, C_v veränderbare Kondensatoren. Die Blockkondensatoren C auf der Sendestation verhindern, daß der Gleichstrom in den Antennen-zweig oder die Erde übergeht.

Treffen Wellen auf den geschlossenen Empfängerkreis, so wird in diesem Energie angesammelt. Im Augenblick des Kontaktschlusses des Tickers Ti (vgl. Abschnitt 12) wird die angesammelte Energie in den Blockkondensator C entladen, um beim Öffnen des Tickers sich über den

parallel geschalteten Telephonzweig T von großem Widerstand zu entladen. Nun wiederholt sich bei weiterem Auftreffen von Wellen die Energieansammlung in C bei geschlossenem Ticker von neuem, bis sich der Ticker wiederum öffnet, und so fort.

Die durch die Taste Ta auf der Sendestation gegebenen Morsezeichen machen sich als entsprechende Geräusche im Telephonhörer T der Empfängerstation bemerkbar.

16. Der Tonsender.

Wenn man statt der langsam arbeitenden Taste an die Stelle derselben einen erheblich schneller arbeitenden Unterbrecher schaltet, so

kann man im Telephonhörer der Empfängerstation statt der den Morsezeichen entsprechenden Geräusche einen Ton vernehmen.

Man erzeugt nun den Ton in der Weise, daß man parallel zur Taste *Ta* (Abb. 22) ein Rad *R* schaltet, das ähnlich wie der Kollektor einer Dynamo mit Kontaktlamellen versehen ist. Steht die Taste in der Ruhelage, so sind einzelne Windungen der Antennenverlängerungsspule *L* kurz geschlossen. Von der Antenne wird die Verstimmungswelle (negative Welle) ausgesandt. Drückt man die Taste nieder, so wird das umlaufende Lamellenrad *R* an die Spulenwindungen gelegt. Die einzelnen Lamellen sind mit der leitenden Achse des Rades verbunden, so daß die Spulenwindungen über die Lamellen und die Achse kurz geschlossen sind. Bei jedem Kurzschluß wird die Verstimmungswelle ausgesandt. Liegt dagegen unter der Bürste *B* ein isolierendes Segment, so ist jedesmal die gesamte Antennenspule eingeschaltet und die positive Sendewelle wird in den Raum ausgestrahlt. Die Drehung des Rades kann nun z. B. in der Weise geschehen, daß in der Sekunde 500—600 Unterbrechungen erfolgen. Im selben Verhältnis schwingt die positive und die negative Welle. Man kann also auf der Empfängerstation sowohl die positive als auch die negative Welle aufnehmen und die Station beliebig auf beide Wellen abstimmen. Mischt sich z. B. eine andere Station in den Verkehr, so kann man durch Umstimmen auf die andere Welle ungestört weiterarbeiten. Im Telephonhörer der Empfängerstation wird man einen Ton wahrnehmen, der der Unterbrechungszahl des umlaufenden Rades entspricht.

17. Löschfunken, Stoßerregung.

Der Widerstand einer offenen Funkenstrecke ist ziemlich groß, so daß derselbe eine stark dämpfende Wirkung ausübt, hierbei wird jedoch die Schwingungsfähigkeit des geschlossenen Kreises nicht sofort aufgehoben. (Vgl. Abschnitt 9.) Solange durch den anfänglichen Funken die Funkenstrecke ionisiert ist, d. h. leitend gemacht ist, solange kann auch, falls das System weiterschwingt, der Funke dauernd übergehen. Es können daher längere Zeit Schwingungen im Kreise verlaufen, bis endlich infolge der Dämpfung die Funkenspannung zu gering wird und der Funke erlischt. (Vgl. Abschnitt 11.)

Entionisiert man die Funkenstrecke rasch, so kann kein neuer Funke entstehen, der Schwingungskreis bleibt nach der ersten Schwingung in Ruhe. Die schnelle Löschung der Funkenstrecke kann man nun dadurch

erreichen, daß man sehr kurze Funkenstrecken verwendet und diese genügend abkühlt. Der Widerstand der Funkenstrecke wird dann so groß, daß der Funke schnell erlischt und daß nach dem Aufhören der ersten kräftigen Schwingung der angeschlossene Kreis nicht weiter schwingt. Man nennt derartige Funken Löschfunken. Den einen kräftigen Schwingungsstoß kann man auf eine angeschlossene Antenne übertragen, diese wird dann mit der ihr eigenen Periode weiterschwingen, selbst wenn die Schwingung im anregenden geschlossenen Kreis abgelaufen ist. Da in der Antenne so gut wie keine Dämpfung vorhanden, sendet dieselbe ungedämpfte Schwingungen in den Raum aus. Man sagt die Antenne schwingt durch Stoßerregung.

Die Löschfunkenstrecke besteht aus mehreren hintereinander geschalteten einzelnen Funkenstrecken von etwa 0,2 mm Länge, welche durch drei Porzellanrohre* umfaßt und mittels zweier Druckstücke aus Glas oder Porzellan gegeneinander gedrückt werden. Die alten Systeme von Hertz und Braun arbeiteten am günstigsten mit einer Funkenstrecke von 5 mm.

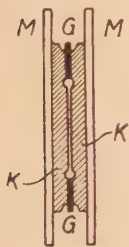


Abb. 23.

Die Elektroden der einzelnen Funkenstrecken bestehen aus runden Kupferplatten *K* (Abb. 23) mit einer auf die Arbeitsfläche aufgelöteten Silberschicht und sind durch Glimmerringe *G* von 0,2 mm Stärke in der Weise voneinander isoliert, daß zwischen den versilberten Kupferflächen der nötige Abstand für die Funkenstrecke besteht. Durch diese Anord-

nung sind die Funkenstrecken gleichzeitig vollständig von der Außenluft abgeschlossen. Tiefe ringförmige Eindrehungen in die Platten verhindern, daß die Funken die Innenseiten der Glimmerringe verbrennen und so einen Kurzschluß zwischen den beiden Kupferplatten herstellen. Zwischen den Elektrodenplatten der einzelnen Funkenstrecken liegen metallene Kühlplatten *M*. Durch diese Kühlplatten und die Elektroden von hoher Wärmeleitfähigkeit wird die Funkenstrecke sehr gut abgekühlt.

Die zum Entstehen eines Funkens von 0,2 mm Länge nötige Wechselstromspannung beträgt etwa 1000 Volt. Sind nun fünf Einzelfunkenstrecken hintereinander geschaltet, so hat man eine Spannung von ungefähr 5000 Volt nötig. Zwischen die Wechselstrommaschine und den geschlossenen Schwingungskreis, den sogenannten Stoßkreis, ist also ein Transformator zu schalten (vgl. Abb. 26).

Die Funkenspannung steigt mit der Zahl der Einzelfunkenstrecken, während die Energie im Stoßkreis mit dem Quadrat der Zahl dieser Funkenstrecken anwächst. Man hat also bei drei Funkenstrecken eine neunmal so große Energie wie bei einer Funkenstrecke. Die auszusendende Energie kann man durch Kurzschließen der einzelnen Funkenstrecken beeinflussen. Dies geschieht durch U-förmige Metallfedern, die zwischen die Kühlplatten gepreßt werden können.

Die Kopplung zwischen dem Stoßkreis und dem Antennenkreis spielt nun eine große Rolle bei der Löschwirkung. Die günstigste Kopplung liegt etwa bei 20%. Bei einer größeren Kopplung treten die alten Fehler des Braunschen Systems, Rückwirkung und Zweiwelligkeit, auf. (Vgl. Abschnitt 8.) Das Zurückfluten der Energie vom offenen Antennenkreis ge-

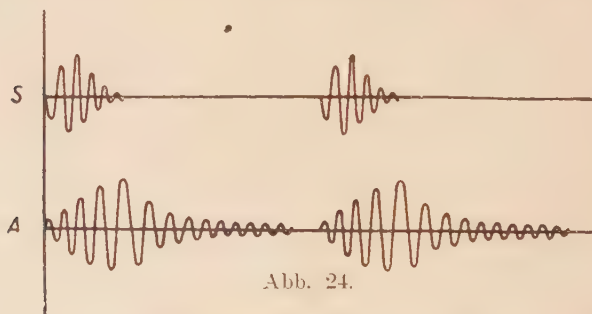


Abb. 24.

schieht bei einer ungünstigen Kopplung dann so schnell und heftig, daß die Funkenstrecke sich wieder entzünden würde und von der schwingenden Antenne Energie in den Stoßkreis über die gut leitende warme Funkenstrecke dringen würde.

Die Schwingungsvorgänge im Stoßkreis *S* und im Antennenkreis *A* sind in der Abb. 24 dargestellt. In einem bestimmten Augenblick fällt die Energie des Stoßkreises und damit auch der Strom und die Spannung an der Löschkunfenstrecke auf den Wert Null, die Funkenstrecke erlischt. Die infolge der Antennenschwingung wirkende Spannung kann ein Wiederaufleben des Funkens nicht veranlassen, der Stoßkreis bleibt bis zum Übergang des nächstfolgenden Funkens unterbrochen und in Ruhe. Die vom Stoßkreis an die Antenne abgegebene Energie bleibt in dieser, die Antenne schwingt mit der ihr eigenen Periode weiter. In der Abb. 24 bedeuten *S* die Schwingungen des Stoßkreises, *A* die der gekoppelten Antenne.

18. Tönende Funken.

Da der Stoßkreis nach der ersten Schwingung in Ruhe bleibt, so kann man beliebig viel Löschfunken in der Sekunde erzeugen. Bei den alten Systemen ging man nicht über 50 Funken in der Sekunde. (Vgl. Abschnitt 9.) Eine größere Funkenfolge bewirkte eine starke Erhitzung der Funkenstrecke, so daß diese leitend blieb. Hierdurch gingen die folgenden Funken schon bei erheblich geringerer Spannung über, die Kondensatoren wurden daher mit einer niederen Spannung geladen und der anhaltende Funke schloß den Maschinenstrom kurz, so daß unnötig Energie verbraucht wurde.

Eine schnellere Funkenfolge ist nun aber andererseits sehr anzustreben, da mit jedem Funken der Antenne Energie zugeführt wird und die von ihr in den Raum ausgestrahlte Energie proportional mit der Funkenfolge wächst. Weiter besteht die Möglichkeit bei einem Übergang von mehreren hundert oder tausend derartiger Funken in der Sekunde im Telephonhörer der Empfängerstation statt des Geräusches einen musikalischen Ton zu vernehmen, der sich leicht von ähnlichen Tönen anderer Stationen unterscheiden läßt. Ferner hat man noch den Vorteil der schärferen Abstimmung der Wellen.

Um nun im Telephon der Empfängerstation einen reinen Ton vernehmen zu können, muß man vor allen Dingen für eine sehr regelmäßige Funkenfolge in der Löschfunkenstrecke sorgen. Man erreicht dies durch eine geeignete Erhöhung der Periodenzahl und durch eine bestimmte Regulierung der Spannung der Wechselstrommaschine. Man verwendet nun Maschinen zu 500 Perioden, diese haben 1000 Wechsel in der Sekunde. (Vgl. Abschnitt 1.) Reguliert man die Spannung der Maschine so, daß bei jedem Wechsel die für die Entstehung des Funkens nötige Höchstspannung erreicht wird, so erhält man tausend Funken in der Sekunde, die Antenne wird also in derselben Zeit tausendmal „angestoßen“. Tausend der in der Abb. 24 dargestellten Schwingungsgruppen gehen dann von der Sendeantenne in den Raum aus, werden von der Empfängerantenne aufgenommen, beeinflussen die Membran des Telephonhörers tausendmal in der Sekunde und lassen hier einen entsprechenden musikalischen Ton entstehen.

Erhöht man die Umlaufzahl der Dynamo und damit auch ihre Periodenzahl, z. B. um 20%, so erhält man auch einen höheren musikalischen Ton von 1200 Schwingungen in der Sekunde.

In der Abb. 25 sind die Vorgänge graphisch dargestellt. *M* ist die Spannungskurve des Wechselstromgenerators, z. B. 1000 Wechsel in der Sekunde, *S* sind die Schwingungen des geschlossenen Stromkreises (1000 Funkenübergänge zu etwa drei bis sechs Schwingungen), *A* sind die Schwingungen der Antenne (1000 Schwingungsgruppen von etwa zwanzig Schwingungen) und *T* sind die 1000 durch den Detektor der Empfangsstation erzeugten Gleichstromstöße im Telephonhörer.

Ändert man die Erregerspannung der Maschine und damit die Auslösespannung für die Funkenstrecke, so kann man ebenfalls die Tonhöhe beeinflussen. Bei jedem Wechsel werden die Kondensatoren im Stoß-

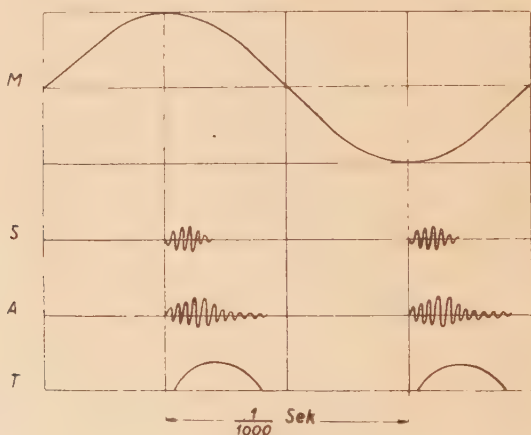


Abb. 25.

kreis auf die notwendige Spannung geladen. Reguliert man nun die Maschinenenergie derartig, daß der Kondensator die zur Entstehung des Funkens nötige Spannung nicht bei jedem Wechsel, sondern erst nach jedem zweiten Wechsel erhält, so bekommt man statt der 1000 Funken nur 500 in der Sekunde. Man wird also im Telephonhörer der Empfangsstation einen entsprechenden um eine Oktave tiefer liegenden Ton vernehmen.

Diese Änderung der Maschinenenergie und die damit verbundene Veränderung des Tones bewirkt man durch einen Regulierwiderstand, den sogenannten Tonschieber. Derselbe ist der Gleichstrom-Erregerwicklung der Wechselstromdynamo vorgeschaltet. (Abb. 26, T.S.)

Will man also tiefere Töne erhalten, so muß man durch Einschalten von Widerstand in den Maschinenkreis oder durch verminderte Erregung die Maschinenspannung verringern. Man hat also Energieverluste.

Den günstigsten Wirkungsgrad erhält man aber, je mehr Energie der Antenne in Form von Schwingungen zugeführt wird, also bei der schnellsten Funkenfolge. Man erzielt daher die günstigste Reichweite einer Station bei den höchsten Tönen.

Die für einen bestimmten Ton notwendige Spannung wird aber beeinflusst durch die Selbstinduktion, die Kapazität und den Ohmschen Widerstand im Wechselstromkreis. (Vgl. Anhang, Abschnitt 3 und 4.)

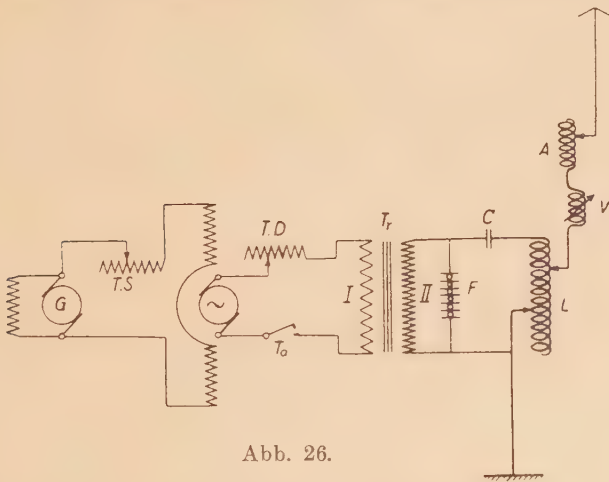


Abb. 26.

Wie man den Antennenzweig mit dem Stoßkreis abstimmt, so muß man auch Resonanz erzielen zwischen der Periode des Wechselstromgenerators und der Schwingung im Stoßkreis. Dies geschieht durch eine veränderbare mit einem Eisenkern versehene Selbstinduktionsspule, die sogenannte Tondrossel. (Abb. 26, *TD*.)

In der Abb. 26 ist *G* die Nebenschluß-Gleichstrommaschine für die Erregerwicklung der Wechselstromdynamo $\sim$ von 500 Perioden. *TS* ist der Tonschieber, *TD* die Tondrossel, die mit der Primärwicklung *I* des Transformators *Tr* hintereinandergeschaltet ist. *F*, *C* und *L* bilden den Stoßkreis, *F* ist die Löschfunkenstrecke, *C* der Stoßkreiskondensator und *L* eine veränderbare Selbstinduktionsspule. *A* ist eine Antennenver-

längerungsspule im Antennenzweig, *Ta* ist die Taste zum Geben der Morsezeichen. Die Anordnung auf der Empfangsstation ist aus der Abb. 18 ersichtlich. (Vgl. Abschnitt 13.)

Während man auf der Empfangsstation mit veränderbarer Selbstinduktion und veränderbarer Kapazität abstimmt, hat man im Stoßkreis der Sendestation eine konstante Kapazität C (Abb. 26). Die Abstimmung erfolgt hier lediglich durch Selbstinduktionsspulen.

Da man nur mit Spannungen von etwa 7000 Volt arbeitet, gegen 30000 Volt Spannung bei den alten Funkenstrecken, so ist die Konstruktion der Sendeapparatur wesentlich übersichtlicher und handlicher geworden. Man verwendet hier neben den veränderbaren Selbstinduktionsspulen L und A noch eine in Reihe mit der Spule A geschaltete in weiten Grenzen veränderbare Selbstinduktion I , das sogenannte Variometer (Abb. 26.) Dasselbe besteht aus zwei Paar Spulen, die als Flachspulen ausgebildet sind. Die Selbstinduktion kann nun durch Parallel- und Hintereinanderschaltung der Flachspulen verändert werden. Bei der Parallelschaltung ist die Gesamtselbstinduktion kleiner, bei der Hintereinanderschaltung addieren sich die Selbstinduktionen beider Flachspulen zueinander. Weiter kann man auch die Selbstinduktion durch entsprechende Stellung der Spulen gegeneinander verändern. Man kann z. B. das eine drehbar angeordnete Spulenpaar so gegen das andere Spulenpaar verdrehen, daß die Stromrichtung in beiden entgegengerichtet ist. Die beiden entstehenden Spulenfelder schwächen sich dann und man erhält eine geringere Selbstinduktion. Dreht man die Spulen so, daß die Stromrichtung in beiden Spulenpaaren gleich ist, dann summieren sich die Selbstinduktionen. Indem man die Spulen von 0 bis 180° gegeneinander verdreht, kann man eine stetige Veränderung der Selbstinduktion vornehmen. Die Wellenlängen für den Stoßkreis sind auf einer Skala für die Einstellung der beweglichen Spule angegeben. Mit letzterer Spule ist fest ein Zeiger verbunden, der sich bei der Drehung der Spule über die Skala fortbewegt. Man kann so schnell die gewünschte Welle einstellen.

Andere Flachspulenvariometer bestehen aus feststehenden und beweglichen Spulenreihen, die im entgegengesetzten Sinne gewickelt sind. Die beweglichen Spulen kann man kammartig in die feststehenden Spulen hineinbewegen und hierdurch die Spulenfelder und die Selbstinduktion verringern.

Die Veränderung der Antennenverlängerungsspule A (Abb. 26) geschieht stufenweise, indem man durch Stöpsel oder durch einen Schalter

Spulenwindungen zu- oder abschaltet. Die Veränderung der Selbstinduktionsspule L geschieht dagegen stetig durch einen Gleitkontakt.

Die Einrichtung ist so getroffen, daß man die Wellenlängen zwischen 500—3000 m verändern kann. Der Kopplungsgrad liegt zwischen 18 bis 24°. (Vgl. Abschnitt 5 und Anhang, Abschnitt 7: Kopplungsgrad, Kopplungsfaktor.)

19. Der Gleichstromtönsender.

Bei der Anordnung von Lepel wird die Tonerzeugung und die Erzeugung der Hochfrequenz durch einen gemeinsamen Schwingungserzeuger vorgenommen. Dieser im Jahre 1907 zuerst angewendete Schwin-

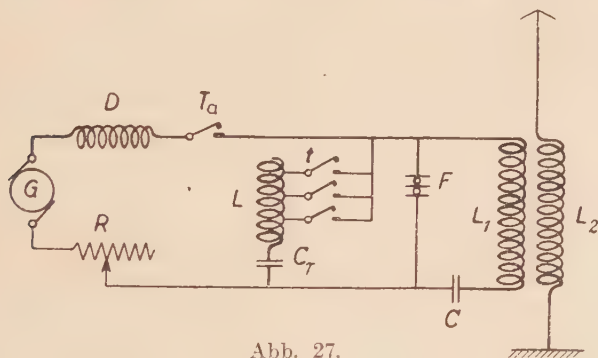


Abb. 27.

gungserzeuger gleicht vollständig der Löschfunkenstrecke, nur ist der Abstand der Elektrodenplatten erheblich verringert, auf etwa 0,05 mm. Wegen des bedeutend besser gekühlten Funkens wird eine äußerst günstige Stoßerregung erzielt. Statt der einzelnen hintereinandergeschalteten Löschfunkenstrecken wird hier nur eine doppelte Funkenstrecke benutzt. Zur Entstehung einer solchen Funkenstrecke benötigt man eine Gleichstromspannung von etwa 250 Volt. Die entstehenden Schwingungen gleichen den stetigen Wellen des Poulsenschen Flammboogens fast vollkommen (vgl. Abschnitt 11), da die Funkenzahl bei dieser Anordnung ziemlich hoch ist. (Über 10000 in der Sekunde.)

Die Abb. 27 zeigt die Anordnung. Ein Generator G von 600 Volt erzeugt die für die Funkenstrecke F nötige Spannung. D ist eine Drosselspule (vgl. Abb. 13 und Abschnitt 11), R ein Regulierwiderstand, Ta eine

Taste. Der geschlossene Stoßkreis besteht aus der Funkenstrecke F , der Selbstinduktionsspule L_1 und dem Kondensator C . Der Antennenkreis mit seiner Selbstinduktion L_2 ist mit dem Stoßkreis induktiv gekoppelt. Der Stoßkreis wird durch Aufladung des Kondensators und durch dessen Entladung bei F in Eigenschwingungen versetzt, die stark gedämpft sind. Die Antenne wird hierbei „angestoßen“ und schwingt mit ihrer Eigenschwingung weiter. (Vgl. Abschnitt; 17.)

Die Funkenzahl bei F kann man durch eine Erhöhung der Maschinenspannung erhöhen. Man kann dies aber auch durch Einschaltung eines kleineren Kondensators C in den Stoßkreis erzielen, da dessen Aufladung schneller vor sich geht.

In das System wird nun ein zweiter Schwingungskreis geschaltet, der aus einer veränderbaren Selbstinduktion L und einem Kondensator C_T besteht. Mit Hilfe dieses Kreises, des sogenannten Tonkreises, kann man Schwingungen von großer Wellenlänge und sehr geringer Frequenz erzeugen, die den Frequenzen der hörbaren Töne entsprechen. Durch Niederdrücken verschiedener Tasten t kann man verschiedene Selbstinduktionswerte von L einschalten und damit auf eine ganz bestimmte Tonfrequenz abstimmen. Die Tonhöhe ist von dieser Frequenz, d. h. von der Größe der Selbstinduktion L und von der des Kondensators C_T im Tonkreis abhängig. Mit der Taste Ta werden die Morsezeichen übermittelt.

Schließt man die Taste Ta und drückt verschiedene der Taster t nieder, so kann man verschiedene Töne in den Raum aussenden. Bringt man eine genügende Anzahl Taster t an, so könnte man Melodien aussenden.

Ohne den zugeschalteten Tonkreis würde man keine Töne wahrnehmen. Bei 10000 Funkenübergängen in der Sekunde entsteht kein für das menschliche Ohr vernehmbarer Ton, auch könnte die Membran des Telephonhörers auf der Empfangsstation diesen Schwingungen nicht folgen. Töne mit gut wahrnehmbarer Tonhöhe haben nach Helmholtz 40 bis 4000 Schwingungen.

Der Kondensator C_T im Tonkreis ist groß gegen den des Stoßkreises C . Ersterer hat eine Kapazität von etwa 400000—500000 cm, während der Stoßkreiskondensator eine Kapazität von 25000—50000 cm besitzt. (Vgl. Anhang 2, Kapazität.)

Die Gleichstromtonsender von Lorenz haben statt der plattenförmigen Funkenstrecke die Schoellersche Funkenstrecke. Diese besteht aus

zwei ineinander liegenden vergoldeten Metallhalbkugeln, in deren Zwischenraum Spiritusdämpfe zugeführt werden.

Zwei andere Tönsender mit umlaufenden Elektroden sollen hier noch

erwähnt werden. Marconi speist eine solche Funkenstrecke mit Wechselstrom od. hochgespanntem Gleichstrom von etwa 20000 Volt. Zwischen zwei mit einer peripheren Geschwindigkeit von etwa 100 m in der Sekunde umlaufenden Metallscheiben S läuft in einer dazu senkrechten Ebene eine mit Erhöhungen versehene Scheibe U (Abb. 28). Sowie diese Erhöhungen zwischen die Scheiben S treten, gehen zwei Funken von je 1 mm über und

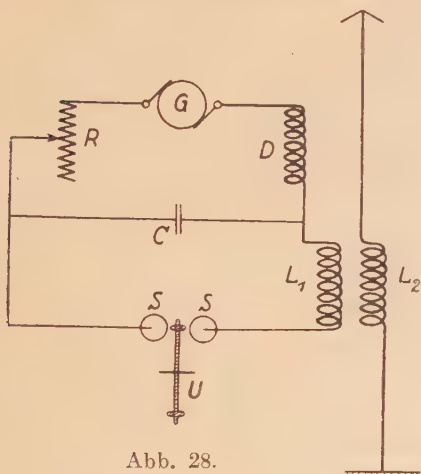


Abb. 28.

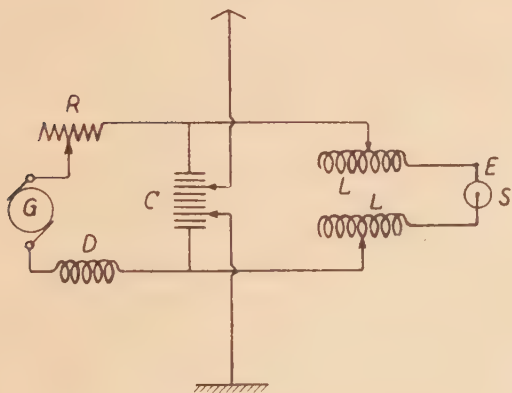


Abb. 29.

entladenen Kondensatorkreis. Durch diese Anordnung wird die Bildung eines Lichtfunken verhindert und man erhält eine Funkenfolge, die einen Ton erzeugt. Die Löschwirkung mit Stoßerregung wird in der Weise

erzielt, daß die Punkte, an denen die Funken übergehen, dauernd durch das Umlaufen der Scheiben verändert werden.

Die Anordnung von Fessenden zeigt die Abb. 29. Eine Hochspannungs-Gleichstrommaschine G ladet eine Kondensatorenbatterie C . Letztere entladet sich durch eine Funkenstrecke, die aus einer feststehenden Elektrode E und einer äußerst rasch umlaufenden Metallscheibe S besteht. Es können auch zwei umlaufende Scheiben verwendet werden. Die rotierende Bewegung zwischen den beiden Entladungspunkten soll etwa 20 km in der Minute betragen. Die Antenne zweigt von den Kondensatoren ab, deren Kapazität ebenso wie die beiden Selbstinduktionen L verändert werden kann. Fessenden erzeugte auf diese Weise ungedämpfte Wellen von ziemlicher Stärke.

20. Lautverstärker.

Von den mechanischen Lautverstärkern, die alle sehr unverlässlich sind, sei hier nur das Telephonrelais der Firma „Telefunken“ erwähnt. In dem mit dem Antennenkreis induktiv gekoppelten Schwingungskreis liegt in Reihe mit der Induktionsspule und dem Thermodetektor ein kleiner Elektromagnet. Vor letzterem befindet sich ein dünnes, an einem gespannten Faden befestigtes Metallplättchen. Von der Thermozele wird der Magnet zu schwachen Schwingungen angeregt, die den aufgenommenen Tönfrequenzen entsprechen. In den gleichen Frequenzen wird dann das Plättchen angezogen. Letzteres ist zugleich die Platte eines sehr empfindlichen Kohlekörner-Mikrophons, welches mit einem Element und einem Blockkondensator in Reihe geschaltet ist. Parallel zu diesem Blockkondensator liegt ein Telephonhörer. Die Schwingungen des Mikrophons verstärken und schwächen den Elementstrom im Sinne der aufgenommenen Tönfrequenzen und versetzen das Telephon in entsprechende Schwingungen. Mehrere derartige Telephonrelais lassen sich hintereinanderschalten, wodurch die Wirkung erheblich verstärkt werden kann. Mit einer derartigen Einrichtung läßt sich auch ein Morseschreiber ohne Zwischenschaltung eines Kohärers betätigen.

Den mechanischen Lautverstärkern an Sicherheit erheblich überlegen sind die ebenfalls von der Gesellschaft „Telefunken“ konstruierten Kathodenröhren-Verstärker. Im Jahre 1913 gelang es diese Kathodenröhren auch als Schwingungserzeuger zu verwenden, wodurch der langjährige Kampf zwischen „gedämpften“ und „ungedämpften“ Schwingungen zugunsten der letzteren entschieden wurde.

21. Die Liebenröhre.

Schon Wehnelt hatte gefunden, daß in einer Vakuumröhre von der erhitzten Kathode, die mit einer dünnen Schicht wirksamen Metall-oxyds belegt, schon bei niederen Spannungen ein Elektronenstrom ausgeht. Die nach ihrem Erfinder benannte Liebenröhre, auch Kathodenröhre genannt, ist besonders von der „Gesellschaft für drahtlose Telegraphie“ verbessert worden. Sie ist ein hochevakuiertes Glasgefäß aus schwer schmelzbarem Glase, das neben einer heizbaren Oxydkathode k und einer Anode a ein siebartig durchlöcherteres Aluminiumblech s , das sogenannte Gitter, enthält. (Abb. 30.) Die Kathode k und die Anode a sind mit einer Batterie E von 220 Volt Gleichstromspannung verbunden, während die Kathode k durch eine besondere Gleichstrombatterie e von etwa 32 Volt erhitzt werden kann.

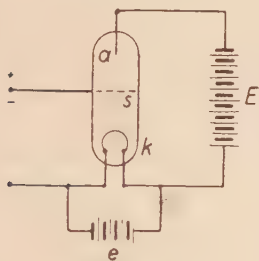


Abb. 30.

Von der heißen Glühkathode k aus geht nun ein Elektronenstrom, bestehend aus kleinsten negativen Elektrizitätsteilchen, zur Anode und durchdringt auf seinem Wege das Gitter s , das hierbei eine negative Ladung annimmt. Die weiter von der Kathode k ausgehenden negativen Elektronen werden nun durch das negative Gitter abgestoßen und da-

durch der von der Batterie E ausgehende Anodenstrom geschwächt. Erteilt man nun dem Gitter von außen eine elektrische Ladung, so wird der Durchgang der Elektronen je nach der Art der Gitterladung beschleunigt oder erschwert, damit aber auch der Verlauf des von E ausgehenden Hauptstromes beeinflußt. Erhält das Gitter z. B. eine positive Ladung, so werden die von k ausgehenden negativen Elektronen angezogen und strömen schneller und in größerer Zahl zur Anode a , der Elektronenstrom wird also verstärkt. Hierbei wächst der von E ausgehende Anodenstrom an. Diese Verstärkung ist um so größer, je vollkommener die positive Ladung des Gitters ist. Gibt man dem Gitter eine starke negative Ladung, so wird der von der Kathode ausgehende Elektronenstrom gedrosselt und zwar um so mehr, je stärker die negative Ladung des Gitters ist. Der Anodenstrom sinkt dann auf den Wert Null. Das Gitter wirkt also gewissermaßen als Ventil.

Den Höchstwert des Anodenstromes wird man dann erhalten, wenn alle von der heißen Kathode abgeschleuderten Elektronen zur Anode gelangen, also bei vollkommener positiver Ladung des Gitters. Man nennt diesen Strom Sättigungsstrom. Die Größe der Änderung des Anodenstromes kann man aus der Charakteristik der Röhre erkennen. Die veränderliche Gitterspannung V ist auf der Abszisse (Abb. 31), die Werte des Elektronenstromes i sind auf der Ordinate aufgetragen. Läßt man nun die Gitterspannung vom Nullwert 0 aus, um ganz geringe Beträge, z. B. von a bis b schwanken, so schwankt der Elektronenstrom von c bis d .

Verbindet man nun das Gitter s und die Glühkathode k mit einer Wechselspannung, so wird dem Gitter eine wechselnde positive oder negative Ladung erteilt. Der Elektronenstrom wird im selben Verhältnis verstärkt oder geschwächt und damit auch der Anodenstrom, jedoch in verstärktem Maße.

Eine solche wechselnde Ladung des Gitters s kann z. B. dadurch erfolgen, daß man dieses an den einen Pol einer Induktionsspule legt, deren anderer Pol mit der Glühkathode k verbunden ist. Wird dann die Spule durch Hochfrequenzschwingungen, die von einer Empfangsantenne

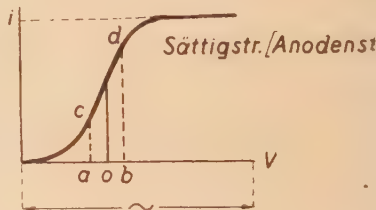


Abb. 31.

aufgenommen, erregt, so entstehen zwischen dem Gitter und der Glühkathode Spannungen, die den auftreffenden Wellen entsprechen und den Elektronenstrom und damit den Anodenstrom im selben Verhältnis beeinflussen. Der Anodenstrom schwankt also mit der Wechselspannung zwischen Gitter und Kathode, jedoch in erheblich verstärktem Maße. Diese starken Schwankungen werden nun zur Lautverstärkung verwendet.

22. Der Niederfrequenzverstärker.

Die Abb. 32 zeigt die Anordnung. Die von der Empfangsantenne aufgenommenen hochfrequenten Schwingungen werden auf den geschlossenen Schwingungskreis übertragen und durch den Detektor D in entsprechende Gleichstromstöße umgewandelt. Letztere werden durch einen Transformator Tr in niederfrequenten Wechselstrom hoher Spannung

umgeformt. Durch diese wechselnden Spannungen, die von der Sekundärspule *II* des Transformators abgenommen werden, wird das Gitter *s* im Verhältnis der durch den Detektor erzeugten Gleichstromstöße, also im Verhältnis der auftreffenden Wellenimpulse abwechselnd positiv und negativ geladen. Im selben Verhältnis wird also der Elektronenstrom zwischen Kathode *k* und Gitter *s* und damit auch der Anodenstrom beeinflusst. Das in letzterem Kreis liegende Telephon *T* wird also im Verhältnis der Detektorstromstöße in Schwingungen geraten.

Da die Gitterkapazität sehr gering, lassen schon sehr kleine Ladungsschwankungen merkliche Änderungen der Gitterspannung und damit Änderungen des Anodenstromes entstehen.

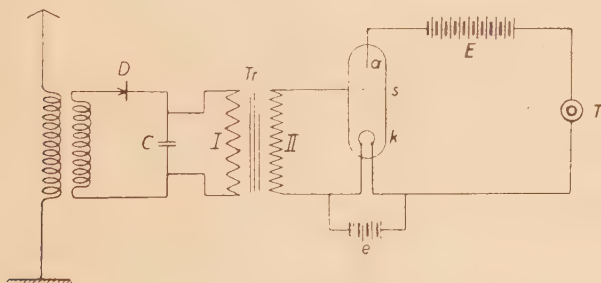


Abb. 32.

Statt der einen Verstärkerröhre kann man auch zwei oder mehrere Röhren unter Zwischenschaltung eines zweiten, dritten usw. Transformators hintereinanderschalten. Über eine gewisse Lautstärke gelingt es jedoch nicht zu kommen, da dem Anodenstrom im Sättigungsstrom (Abb. 31) eine gewisse Grenze gesetzt ist.

23. Der Hochfrequenzverstärker.

Beim Hochfrequenzverstärker läßt man nicht die durch den Transformator in niederfrequenten Wechselstrom hoher Spannung umgewandelten Gleichstromstöße des Detektors den Elektronenstrom der Verstärkerröhre beeinflussen, sondern man läßt die von der Empfangsantenne aufgenommenen Hochfrequenzschwingungen unmittelbar auf das Gitter einwirken.

Die Empfangsantenne ist induktiv mit einem Schwingungskreis gekoppelt (Abb. 33), der aus einer Selbstinduktion L_2 und einem veränderbaren Kondensator C_v besteht. Durch letzteren kann man den Gitterkreis auf den Antennenzweig abstimmen. Die Antennenschwingungen werden dann

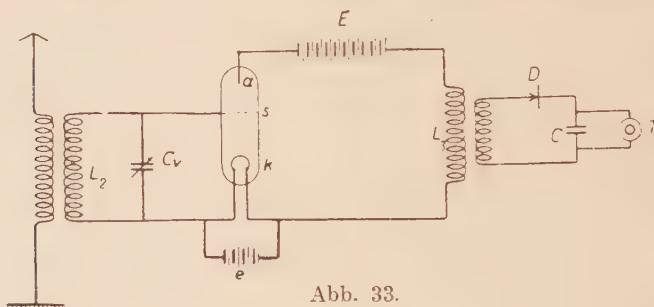


Abb. 33.

im Röhrenkreis und in der in diesem Kreis liegenden Spule L_3 verstärkt verlaufen. Mit der Spule L_3 ist der Detektorkreis induktiv gekoppelt. Die in L_3 verlaufenden Schwingungen werden im Detektor D in entsprechende Gleichstromstöße umgewandelt und letztere beeinflussen das zu einem Blockkondensator C parallel liegende Telefon.

Beim Betrieb der Verstärker-
röhren ist zu beachten, daß eine
Röhrentemperatur von 40° nicht
überschritten wird.

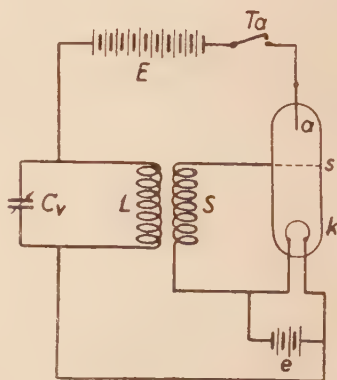


Abb. 34.

24. Die Liebenröhre als Schwingungserzeuger.

Man kann mit der Liebenröhre auch ungedämpfte Schwingungen erzeugen. Schaltet man in den Anodenkreis eine Spule L und einen veränderbaren Kondensator C_v zu einem abstimmbaren System (Abb. 34), so kann man z. B. durch Einschalten der Anodenbatterie E mittels des Taster Ta diesen Kondensatorkreis in Eigenschwingungen versetzen.

Mit diesem und dem Anodenkreis ist der Gitterkreis, der aus dem Gitter und der Spulenabteilung l der Gesamtpule L besteht, galvanisch gekoppelt. Der Versuch ergab, daß es für die Anode, ebenso für das Gitter eine günstigste Kopplung gibt. Diese findet man durch Einstellung von g auf die stärkste Schwingung.

25. Schwebungen.

Der im Detektor durch ungedämpfte Schwingungen erzeugte stetige Gleichstrom ist in einem Telephonhörer nicht wahrzunehmen. Der Empfang mittels Ticker oder Schleifer ist zwar besser als bei den Kontakt-

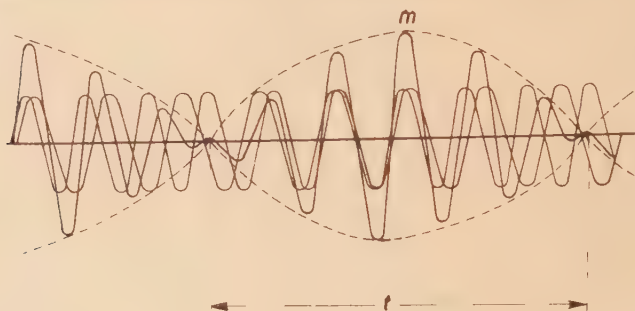


Abb. 36.

detektoren, jedoch auch noch ziemlich unvollkommen. Man bemühte sich daher eine neue vollkommenere Art des Empfangs herbeizuführen und fand eine Lösung dadurch, daß man den Empfangskreis noch durch eine zweite Schwingung (Überlagerungs- oder Hilfsschwingung) erregte, die von der auftreffenden Schwingung ein wenig verschieden war. Hierdurch kam man zu einer Überlagerung beider Schwingungen, deren Resultierende eine einzige Schwingung war. Man nennt derartige Schwingungen Schwebungen und spricht von Interferenzempfang.

Hat man z. B. gleichzeitig zwei ungedämpfte Schwingungen von verschiedener Frequenz (Abb. 36), so ergibt sich innerhalb einer Zeit t durch Überlagerung eine resultierende Schwingung, die bei m ein Maximum ihrer Schwingungsweite zeigt. Diese sogenannte Schwebung setzt sich regelmäßig fort, falls die beiden Einzelschwingungen keine Änderung zeigen. Ist z. B. die Zeit t gleich $1/1000$ Sekunde, so wird man in einem Telephonhörer mit vorgeschaltetem Detektor einen Ton wie bei ge-

dämpften Schwingungen wahrnehmen, der der Schwingungszahl 1000 in der Sekunde entspricht. Jede der ungedämpften Einzelschwingungen hätte das Telephon nicht anregen können.

Die Frequenz der Schwebung wird um so größer sein, je größer der Unterschied der Frequenzen der beiden Einzelschwingungen ist. Hat z. B. die eine Schwingung eine Frequenz 60000 in der Sekunde, die andere eine solche 59000, dann hätte die resultierende Schwingung einer Frequenz 1000. Durch beliebige Wahl der Überlagerungs- oder Hilfswelle kann man nun jede beliebige Tonhöhe einstellen und sich so von störenden Stationen unterscheiden.

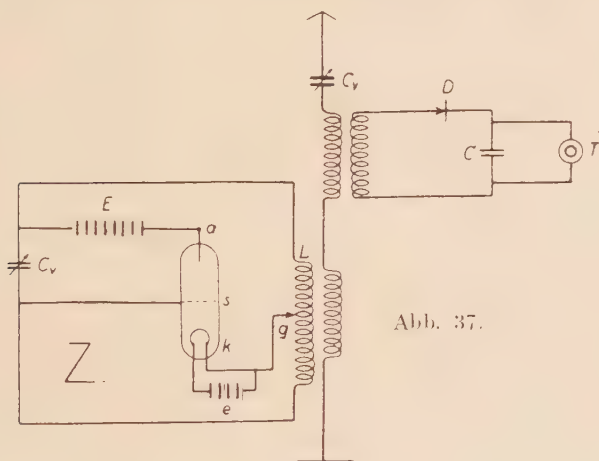


Abb. 37.

Man kann auch eine ungedämpfte Schwingung einer gedämpften Schwingung überlagern, erhält hier aber eine sehr unregelmäßige Schwebung, die man im Telephonhörer als Geräusch vernimmt.

26. Interferenzempfang.

Die Anordnung beim Empfang mittels Schwebungen ist aus der Abbildung 37 zu ersehen. Man verwendet hierbei den Schwebungszusatzkasten, der in der Hauptsache eine Kathodenröhre enthält, die nach der Spannungsteilermethode geschaltet ist. (Vgl. Abb. 35). Mit Hilfe dieses Schwebungszusatzkastens Z wird auf den eigentlichen Empfängerkreis mittels der Kopplungsspule L eine zweite ungedämpfte Schwingung über-

tragen, die sogenannte Überlagerungs- oder Hilfschwingung. C' sind veränderbare Kondensatoren, D ist ein Detektor, T ein Telephonhörer, der parallel zu einem Blockkondensator C geschaltet ist.

27. Das Audion.

Die Kathodenröhre kann man auch als Detektor für gedämpfte Schwingungen verwenden und nennt dieselbe dann Audion. Die Schaltung zeigt die Abb. 38. In den Anodenkreis ist ein Blockkondensator C geschaltet, zu dem parallel der Telephonhörer T liegt. Ebenso ist in den

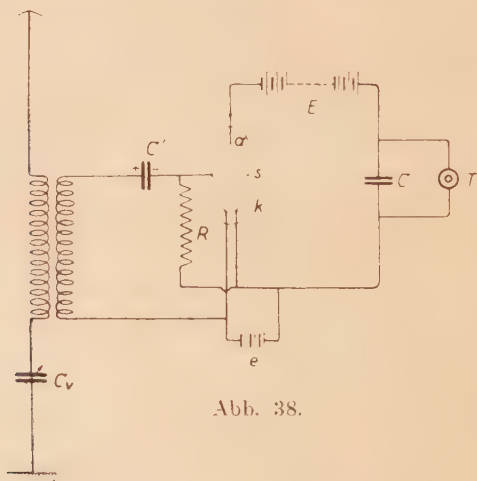


Abb. 38.

Gitterkreis ein Kondensator C' von geringer Kapazität geschaltet. C_v ist ein im Antennenkreis liegender veränderbarer Abstimmungskondensator.

Wie im Abschnitt 21 ausgeführt, wird dem Gitter s der Liebenröhre von dem von der heißen Kathode k ausgehenden Elektronenstrom eine negative Ladung erteilt. Die von der Empfangsantenne aufgenommenen gedämpften Schwingungen geben den Belegungen des Kondensators C' im Gitterkreis abwechselnd positive und negative Ladung. Es soll nun der Augenblick angenommen werden, in dem die dem Gitter abgewandte Belegung positive Ladung erhalten hat. Dann wirkt diese auf die neutrale Elektrizität der dem Gitter zugewandten Belegung verteilend

ein, letztere wird negativ und positive Ladung wandert zum Gitter hin. Hierdurch wird die negative Gitterspannung geringer, der von der Kathode ausgehende Elektronenstrom wächst an und damit der von E ausgehende Anodenstrom. Dieser teilt dem Gitter nun wiederum negative Ladung zu. Beim Wechsel der Schwingung sinkt die Kondensatorspannung für einen kleinen Zeitraum auf den Wert Null, die Gitterladung wird wieder stärker negativ, die Stärke des Anodenstromes fällt ab. Beim weiteren Fortschreiten des Wechsels der Schwingung wird jetzt die dem Gitter abgewandte Kondensatorbelegung negativ, die gegenüberstehende Be-

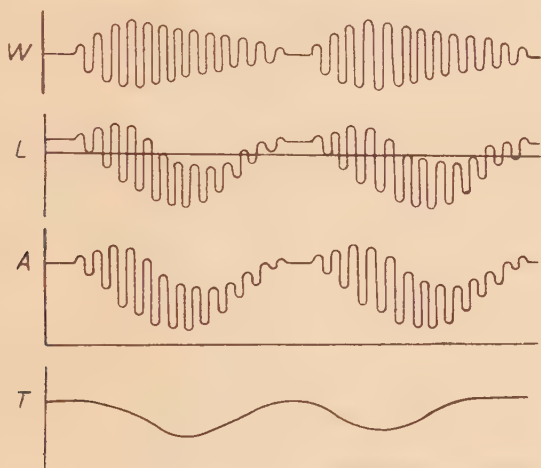
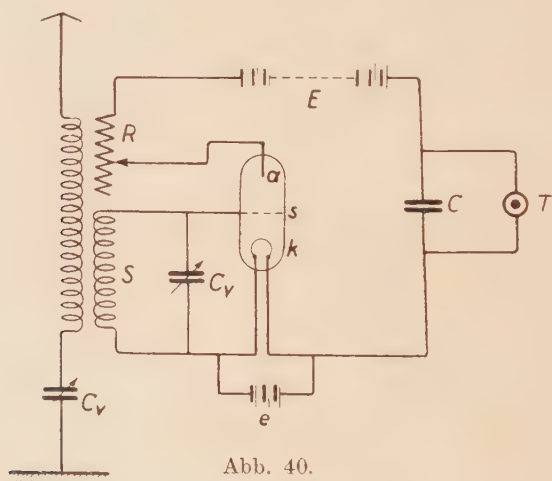


Abb. 39.

legung wird positiv und negative Ladung wird zum Gitter abgestoßen. Hierdurch wird die negative Gitterladung verstärkt und der Anodenstrom verringert. Beim abermaligen Wechsel der Schwingung sinkt die Kondensatorspannung wiederum für einen kleinen Zeitraum auf den Wert Null, die negative Ladung des Gitters verringert sich. Diese ist jetzt gegen den anfänglichen Zustand vermehrt und zwar um die kleine negative Menge, die dem Gitter bei dem oben angenommenen ersten positiven Wechsel infolge der anwachsenden Anodenstromstärke zuerteilt worden war. Dies wiederholt sich nun bei allen folgenden positiven Wecheln. Jedesmal wird die Ladung des Gitters um einen kleinen negativen Betrag verstärkt, der Anodenstrom also dauernd geschwächt. Da diese negative

Gitterladung in Schwingungen vor sich geht, muß auch die Schwächung des Anodenstromes in schwingender Weise erfolgen.

Damit nun die Gitterladung nicht dauernd im negativen Sinne anwächst und der Anodenstrom hierbei endlich vollkommen gedrosselt wird, muß gesorgt werden, daß der Kondensator mit dem Gitter entladen werden kann. Man hat deshalb in den Gitterkreis einen ziemlich hohen Widerstand R eingeschaltet (Abb. 38), der ein Abfließen der negativen Gitterladung während des Verlaufs zwischen zwei Schwingungsperioden gestattet und so den Anodenstrom allmählich wieder auf seine normale Stärke anwachsen läßt. Die Schwankungen des Anodenstromes ent-



sprechen aber dem Rhythmus der von der Sendestation ausgehenden gedämpften Wellen oder auch Schwebungen (vgl. Abschnitt 25), sie haben also eine hohe Frequenz und können vom Telephon nicht aufgenommen werden. Im Telephonhörer nimmt man dagegen einen Ton wahr, dessen Schwingungszahl der Gruppenzahl der gedämpften Wellen entspricht. Die Vorgänge sind in der Abbildung 39 graphisch dargestellt. W sind die ankommenden gedämpften Wellen oder auch die auftreffenden Schwebungen, L ist die Änderung der Gitterladung, A die Schwingung des Anodenstromes und T der Verlauf des Stromes im Fernhörer.

Es können also mit Hilfe der Kathodenröhre die von der Empfängerantenne aufgenommenen gedämpften Wellen oder auch Schwebungen

ganz wie bei Einschaltung eines Detektors in einem Telephonhörer in Töne bestimmter Tonhöhe umgesetzt werden. Die Kathodenröhre hat vor dem Detektor aber den Vorzug, daß sie nicht nur gleichrichtend, sondern auch verstärkend wirkt.

Man kann nun mit der Röhre eine weitere erhebliche Verstärkung erreichen, wenn man mittels einer Rückkopplungsschaltung den Gitterkreis durch den Anodenkreis beeinflussen läßt (vgl. Abschnitt 24). Die auf die Empfangsantenne auftreffenden gedämpften Wellen werden mittels induktiver Kopplung bei S (Abb. 40) dem Gitterkreis der Kathodenröhre zugeführt, hier gleichgerichtet und verstärkt und weiter im Tele-

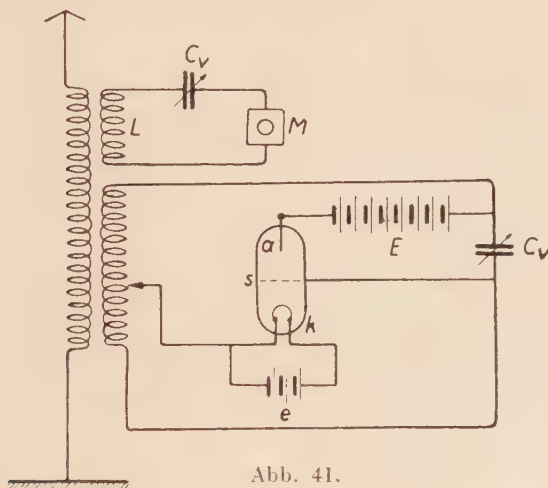


Abb. 41.

phonhörer als Töne wahrgenommen. Die veränderbare Rückkopplungsspule R muß hierbei „lose“ eingestellt werden, da sonst die Kathodenröhre als Wellenerzeuger wirkt (vgl. Abschnitt 24) und die von der Röhre erzeugten Schwingungen sich dann mit den aufgefundenen Wellen zu unregelmäßigen Schwingungen zusammensetzen, die den Telephonhörer ungünstig beeinflussen. Ist jedoch die Spule R „lose“ eingestellt, dann hört man im Telephon T , wie oben beschrieben, einen Ton von bestimmter Höhe.

Will man drahtlos telephonieren, d. h. die menschliche Stimme mittels ungedämpfter Wellen übertragen, so muß man folgende Anordnung treffen (Abb. 41). Mit der Sendeantenne ist ein abstimmbarer Schwin-

gungskreis gekoppelt, der aus der Induktionsspule L , dem veränderbaren Kondensator C , und einem Mikrophon M besteht. Dieser Kreis wird auf die auszusendenden ungedämpften Wellen abgestimmt und wird so von den Antennenschwingungen erregt. Hierbei wird dem Antennenkreis Energie entnommen, und zwar um so mehr, je kleiner der Mikrophonwiderstand ist. Beim Hineinsprechen in das Mikrophon verändert sich der Widerstand desselben entsprechend den Tönen der menschlichen Stimme. Die im Mikrophonkreis entstehenden Schwankungen beeinflussen im gleichen Rhythmus den Antennenkreis und gehen von der Sendeantenne in den Raum aus. (Vgl. Abschnitt 14.)

28. Die Antenne.

Mittels der Luftleiter oder Antennen (Käferfühler) werden die elektrischen Wellen in den Raum ausgestrahlt und ebenso aus diesem aufgenommen. Die Reichweite einer Station hängt neben der Größe der ver-

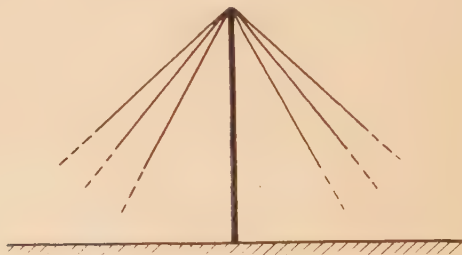


Abb. 42.

wendeten Energie und der Frequenz von der Höhe der Antenne ab. Die Großstation „Nauen“ hat z. B. zwei Türme von 260 m Höhe in 2 km Entfernung voneinander, zwischen denen der Sendedraht aufgehängt ist. Die erste einfachste Form der Antenne war ein von der Funkenstrecke ausgehender vertikaler Draht. Dieser war isoliert an einem Mast aufgehängt. Häufig gebräuchliche Antennenformen zeigen die Abbildungen 42—44. Die Drahtenden sind von der Erde gut isoliert.

Im allgemeinen strahlen offene Antennen (Abb. 43 und 44) besser aus als geschlossene Antennen (Abb. 42.) Letzteren kann man jedoch eine größere Kapazität geben, sie eignen sich daher vorzugsweise für die Aussendung großer Energiemengen mit langen Wellen. (Vgl. Abschnitt 2 und 5.)

Je größer die Zahl und Länge der Drähte und je geringer der Abstand derselben von der Erde ist, um so größer ist die Kapazität der Antenne. Es ist jedoch vorteilhafter, hohe Antennen mit weniger Drähten zu verwenden. Ausstrahlungsfähigkeit und Reichweite steigen ungefähr mit dem Quadrat der Antennenhöhe.

Die gesamte Antenne ist als Kondensator anzusehen, sie besitzt

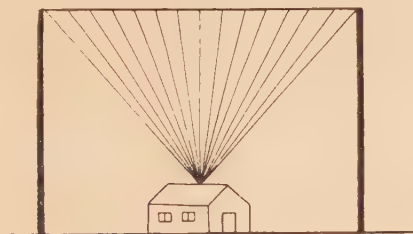


Abb. 43.

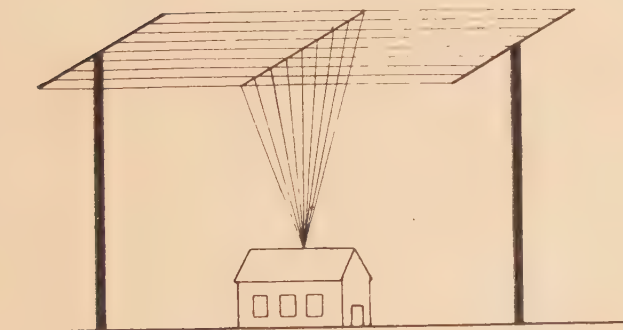


Abb. 44.

gegenüber der Erde eine bestimmte Kapazität. Die eine Belegung dieses Kondensators ist die Erdoberfläche, die andere die Oberfläche des Drahtgebildes, d. h. die von den Luftdrähten umschlossene Gesamtfläche, die beinahe ebenso wirkt, wie ein die gleiche Grundfläche überspannendes Metallblech gleicher Oberfläche. (Vgl. Anhang 2. Kapazität.)

Die geknickte Antenne und die Rahmenantenne sind im Abschnitt 34 behandelt.

29. Die Antenne als Schwingungskreis.

In der Funkenstrecke verlaufen Stromstöße schnell wechselnder Richtung. Die Abb. 45 zeigt einen Stromstoß, der im Augenblick von oben nach unten gerichtet sein mag. Dann verlaufen die elektromagnetischen Kraftlinien um die Funkenstrecke im Sinne der Pfeilrichtung, d. h. wenn man in der Richtung des augenblicklichen Stromstoßes blickt, im Uhrzeigersinne. Bevor der nächstfolgende Funkenübergang von unten nach oben beginnt, sinkt die Stromstärke in der Funkenstrecke für einen Augenblick auf den Wert Null. Die elektromagnetischen Kraftlinien verschwinden und es entsteht jetzt zwischen der unteren im Augenblick positiv geladenen Elektrode und der oberen jetzt negativen Elektrode der Funkenstrecke ein von ersterer Elektrode ausgehendes nach oben verlaufendes elektrostatisches Kraftfeld (Abb. 46). Nun folgt ein Funkenstoß von der unteren zur oberen Elektrode, um welchen elektromagnetische Kraftlinien von entgegengesetzter Richtung wie in der Abb. 45 verlaufen.



Abb. 45.



Abb. 46.

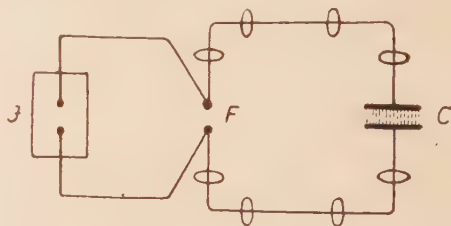


Abb. 47.

Nach Ablauf dieses nach oben gerichteten Stromstoßes bildet sich ein von oben nach unten gerichtetes elektrostatisches Feld usw. Dauernd wiederholt sich dieses Wechselspiel, solange die Funkenstrecke neu aufgeladen wird. Diese wechselnd gerichteten Kraftlinien wandern nun in den Raum hinaus nach allen Richtungen wie Lichtwellen von einer Lichtquelle und werden mit wachsender Entfernung von der Funkenstrecke immer schwächer.

Um nun eine Wirkung auf möglichst große Entfernung ausüben zu können, muß man dem schwingenden System eine geeignete Form geben. Bei einem geschlossenen Schwingungskreis mit einer Kapazität C (Abb. 47)

dessen Funkenstrecke F von einem Induktorium J gespeist wird, wird man trotz kräftiger Schwingungen keine wesentliche Ausbreitung der Kraftlinien in den Raum erreichen.

Mit wachsender Entfernung der beiden Platten des Kondensators C voneinander, wächst auch die Ausbreitung der Fernwirkung um Weniges. (Abb. 48.) Die elektromagnetischen Kraftlinien verlaufen in konzentrischen Kreisen um den Stromleiter und stehen senkrecht auf der Ebene des letzteren, sie halten sich zusammen.

Bei einer Gestaltung des schwingenden Systems, wie etwa in Abb. 49, nehmen die elektrischen Kraftlinien ungefähr die dort verzeichnete Form der Ausbreitung an. (Offener Schwingungskreis.) Hier werden sowohl die elektrostatischen wie auch die elektro-

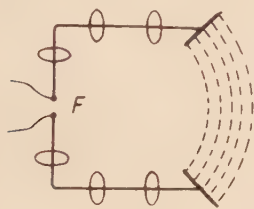


Abb. 48.

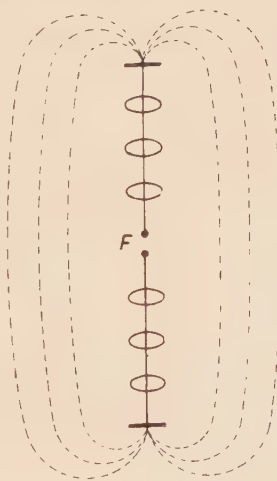


Abb. 49.

magnetischen Kraftlinien nicht mehr zusammengehalten und wandern in den Raum hinaus. (Vgl. Abschnitt 2.)

Die einfache vertikale Antenne stellt im wesentlichen die Form eines solchen offenen Schwingungskreises dar. Die Platten an den Leiterenden sind nicht vorhanden, die Kapazität ist allein durch den geraden Leiterdraht gegeben.

30. Schwingung der Antenne. Verluste.

Spannt man die beiden Drähte von der Funkenstrecke F in horizontaler Richtung aus (Abb. 50), so erhält jede Drahtseite beim Übergang von Funken in F eine elektrische Wechselspannung, die millionenmal in

der Sekunde zwischen einem positiven und negativen Höchstwert schwankt. Die größten Spannungswerte werden an den Enden der Drähte erreicht, wie man aus dem verschieden starken Aufleuchten der an verschiedene Stellen der Drahtleitung eingeschalteten Geißleröhren feststellen kann. Die Zunahme der Spannung erfolgt nach einem Sinusgesetz, die Kurven E zeigen die Spannungsverteilung auf den geraden Leitern. Die Stromstärke verhält sich nun umgekehrt wie die Spannung. Bei der Ladung durch die Funkenstrecke F mag die rechte Drahtseite in einem bestimmten Augenblick positiv, die linke Seite negativ aufgeladen werden. Es wird dann von rechts positive Elektrizität nach links und wieder zurückströmen, eben-

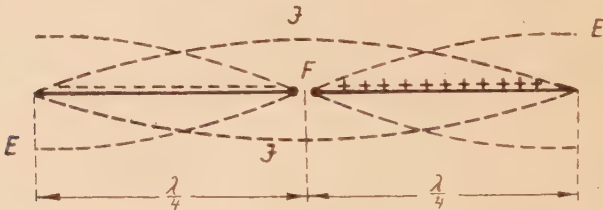


Abb. 50.

so strömt negative Elektrizität von links nach rechts und wieder zurück. Dies wiederholt sich dauernd solange, wie Funken bei F übergehen. Der Stromstärkenwert ist in der Mitte der Funkenstrecke am größten, da hier die gesamte elektrische Ladungsmenge für die beiden Drahthälften hindurchströmt. Diese Strommenge wird nach den Drahtenden hin kleiner und kleiner. Die Kurve J gibt ein Bild der Stromverteilung auf den Leitern. Durch an verschiedene Stellen der Drahtleitung eingeschaltete Glühlämpchen kann man dies Schwächerwerden des Stromes nach den Enden der Drähte hin nachweisen.

Spannt man in einiger Entfernung parallel zu diesem Draht mit der Funkenstrecke F einen zweiten isolierten Horizontaldraht auf, so entstehen durch Induktionswirkungen gleiche Spannungsschwankungen in diesem sekundären Leiter, die ebenfalls dem Sinusgesetz folgen. (Vgl. Abschnitt 2 und Abb. 2.) Diese Schwingungen werden nun durch die Länge der Drähte beeinflusst und folgen ganz den Gesetzen der Akustik.

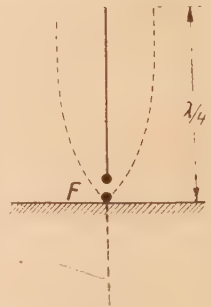


Abb. 51.

Führt man den einen Draht senkrecht von der Funkenstrecke F nach oben (Abb. 51) und erdet den anderen Pol der Funkenstrecke (vgl. Abschnitt 4 und Abb. 4), so bleibt die Verteilung der elektrischen Spannung auch in diesem Falle die gleiche, wie bei dem horizontal ausgespannten Draht. Die Erde bildet gewissermaßen ein Spiegelbild der Erscheinungen des oberen senkrechten Drahtes. Das gleiche ergibt sich weiter, wenn man den sekundären zu beeinflussenden Draht ebenso vertikal aufstellt und sein unteres Ende ebenfalls erdet. Auch hier entstehen beim Übergang der Funken in F Fernwirkungen, der sekundäre Vertikaldraht wird in Mitschwingungen versetzt. Dies geschieht jedoch auf weitere Reichweiten hin als bei den ungeerdeten horizontal liegenden Drähten.

Mit Wellenlänge λ bezeichnet man nun die Strecke, um die eine Schwingung während einer Periode fortschreitet. (Vgl. Abschnitt 1, Abbildung 1). Der geradlinig ausgespannte Draht mit der Funkenstrecke F in der Abbildung 50 schwingt mit einer halben Wellenlänge $\frac{\lambda}{2}$, beide Drahthälften mit der Wellenlänge $\frac{\lambda}{4}$. Man kann Gleiches auch bei einem mechanischen Beispiel, bei in der Mitte eingespannten elastischen Metallstäben beobachten.

Auch bei dem geerdeten Leiter (Abb. 51) vollzieht sich die Schwingung in gleicher Weise, seine obere freie Drahthälfte schwingt ebenfalls mit einer Viertelwellenlänge $\frac{\lambda}{4}$. Man bezeichnet diese Schwingung als Eigenschwingung des Drahtleiters. Aus der Länge des letzteren kann man leicht die Wellenlänge der Eigenschwingung berechnen. Bei einem Draht von 100 m Länge beträgt die Wellenlänge der Eigenschwingung 400 m. Es ist also die Länge der im Sendedraht erzeugten Welle gleich dem Vierfachen des schwingenden Vertikaldrahtes. Dieses Gesetz gilt in jedem Fall für mechanische wie für elektrische Schwingungen.

Der Verlauf der elektrostatischen Kraftlinien (vgl. Abb. 49) von einem geerdeten Vertikaldraht aus im Augenblick vor dem Übergang des Funkens bei F zeigt die Abb. 52. Die Kraftlinien verlaufen, je weiter sie sich von der Antenne ausbreiten, um so weniger dicht. Der Antennenteil oberhalb der Funkenstrecke mag im Augenblick eine positive Ladung haben. Sowie nun bei F ein Funke übergeht, fließt die positive Ladung der oberen Antenne über die leitende Funkenstrecke zur Erde ab. Die

Spannung des Drahtes sinkt auf den Wert Null und die elektrostatischen Kraftlinien verschwinden. Der Strom hat zurzeit seinen Höchstwert.

Um den Sendedraht verlaufen aber während des Stromstoßes elektromagnetische Kraftlinien, die ihren Höchstwert erreichen, wenn das elektrostatische Feld vollkommen verschwunden ist. Der Verlauf dieser elektromagnetischen Kraftlinien ist in der Abbildung 52 nicht verzeichnet, er ist dagegen in der Abbildung 49 angedeutet.

Infolge der Selbstinduktion fließt nun der Strom weiter, bis nach einer halben Schwingung nach dem Entstehen des Funkens der obere Draht negativ geladen und das Feld der elektrischen Kraftlinien das gleiche wie in Abbildung 52 ist, nur daß sich Ladung und Richtung des Feldes geändert haben. Dies wiederholt sich mit einer Anzahl von Schwingungen, bis die Energie der Ladung vollkommen verbraucht ist und der Funke bei F erloschen.

Während der Dauer einer Schwingung wird also die elektrische Ladung der Antenne in Stromenergie umgewandelt, wobei gleichzeitig die von der Antenne ausgehenden elektrischen Kraftlinien in vertikal zu diesen verlaufende elektromagnetische Kraftlinien umgeformt werden. In einer gekoppelten Antenne sind die Vorgänge im wesentlichen die gleichen.

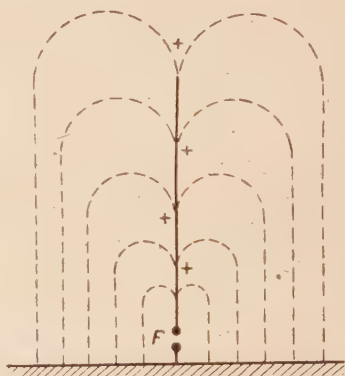


Abb. 52.

Die Verluste in der Antenne sind einmal durch den Widerstand der Leitung bedingt, dann aber auch durch Übergang der elektrischen Energie infolge der hohen Spannungen. Man muß daher für alle Zuführungen und für den Antennendraht gute Leiter von großem Querschnitt wählen. Für die Antenne nimmt man Drähte aus Silizium- oder Phosphorbronze, die sich neben einer genügenden Festigkeit durch ein gutes Leitvermögen auszeichnen. Übergangsverluste vermeidet man durch eine gute Isolierung. Die Luftleiter sind an den Aufhängestellen und ebenso von der Erde sehr gewissenhaft zu isolieren. Weitere Verluste bestehen darin, daß die der Antenne zugeführte Energie durch Strahlung geschwächt wird. (Sprühen.) Die zugeführte Energie soll aber möglichst vollständig in Form elektri-

scher Wellen ausgesendet werden. Man kann das Sprühen durch Vergrößerung der Antennenkapazität beseitigen, indem man Querleiter ausspannt oder die Zahl der Antennenleiter vermehrt.

31. Einschaltung von Selbstinduktion und Kapazität in die Antenne.

Die Antenne hat bei einer bestimmten Länge, wie im Abschnitt 30 behandelt worden ist, eine bestimmte Eigenschwingung. Man kann nun durch Einschalten einer Selbstinduktionsspule in den Antennenast die Wellenlänge im Luftleiter vergrößern. (Vgl. Abschnitt 7.) Die Einschaltung dieser Selbstinduktionsspule geschieht im unteren Teil der Antenne, weil hier die Stromstärke am größten, also auch die Wirkung am stärksten. (Vgl. Abb. 9, L_2 .) Über das zehnfache der Eigenschwingung verlängert man die Antenne nicht. Die Reichweite nimmt bei starker Verlängerung ab, dies ist dadurch begründet, daß der untere Antennenast mit der größten Stromstärke in Spulenform weniger für eine Fernwirkung geeignet ist.

Durch Einschalten eines Kondensators in den unteren Teil der Antenne kann man die Wellenlänge derselben verkürzen. (Vgl. Abschnitt 7, Abb. 9 (C_1)). Die Kapazität dieses Kondensators ist mit der der Antenne hintereinandergeschaltet. Zwei in Reihe geschaltete Kondensatoren besitzen aber eine geringere Kapazität als jeder der beiden Kondensatoren einzeln. (Vgl. Anhang 2: Kapazität, Abb. 63.) Man verwendet als Verkürzungskondensatoren gewöhnlich eine Reihe parallel geschalteter Leydener Flaschen. Eine Verkürzung der Antenne über 20% hat sich nicht als günstig erwiesen.

32. Erdung. Gegengewicht.

Für kleinere Stationen genügt eine Erdung, wie man diese bei Blitzableitern anwendet. Eine Platte aus verbleitem Eisen von möglichst mehreren Quadratmetern Oberfläche und etwa 3 mm Stärke wird bis in den feuchten Boden gelegt, nötigenfalls bis in die Grundwasserschicht. Bei Schiffsstationen geschieht die Erdung durch Verbindung mit dem Metallkörper des Schiffes. Um bei größeren Landstationen eine genügend große Erdoberfläche der Metallplatten und damit einen möglichst geringen Übergangswiderstand zu erhalten, verlegt man sternförmig eine Anzahl mehrfach miteinander verbundener Metallplatten aus Zink, Blei oder

Kupfer. Die Größe der Plattenoberfläche wächst mit der Größe der Antenne.

Bei fahrbaren Stationen hat man nicht immer die Zeit für eine gute Erdung, häufig verbietet auch die Bodenbeschaffenheit eine solche. Man benutzt in solchen Fällen ein „Gegengewicht“. Durch einfaches Auflegen der Metallplatten auf den Erdboden würde man nicht die gewünschte Wirkung erzielen, man hätte hierbei einen ziemlich großen Übergangswiderstand und infolgedessen große Verluste. Das Gegengewicht besteht aus einem möglichst engmaschigen Drahtnetz oder aus mehreren Drähten, von denen jeder etwa doppelt so lang wie der Antennendraht ist. Es ist 1—3 m hoch über dem Erdboden isoliert aufgehängt. Man erhält auf diese Weise einen Kondensator, dessen Dielektrikum die Luftschicht und dessen Gegenbelegung das Grundwasser ist. Diese Gegengewichtskapazität muß aber um ein Vielfaches größer sein als die der Antenne. Sie wirkt zwar gewissermaßen als Verkürzungskondensator (vgl. Abschnitt 31), der zwischen Antenne und Erde geschaltet ist. Da sie aber erheblich größer als die Antennenkapazität ist, so ist die Verringerung der Gesamtkapazität und die Verkürzung der Eigenschwingung nicht sehr groß. In elektrischer Hinsicht wird die Wirkungsweise nicht wesentlich verändert. Die elektrischen Kraftlinien verlaufen von der Antenne durch die Luft zur Erde und weiter zum Grundwasser, von dort zum Gegengewicht und zu dem angeschlossenen Apparat.

Über die wirksame Kapazität der Antenne ist Weiteres in Abschnitt 2 des Anhangs gesagt.

33. Die elektrischen Wellen im Raum. Wellenlängen.

Die Übertragung der elektrischen Energie von einem schwingenden Sendesystem auf den Empfänger geschieht durch Induktion. Die Stärke der Induktionswirkung ist abhängig von der Höhe der Antenne, von der Größe der schwingenden Energiemenge im Sender, von der Frequenz (Zahl der Schwingungen in der Sekunde) und von der Entfernung der Send- und Empfangsstation. Die Übertragung der Energie geschieht in Form elektrischer Wellen. Der Übermittler dieser Wellen ist, wie bei den Lichtwellen, der Äther. Die elektrischen Wellen pflanzen sich mit der Geschwindigkeit des Lichtes, 300000 km/sec fort. (Vgl. Abschnitt 2.) Den Abstand zweier Wellen nennt man Wellenlänge und bezeichnet diese gewöhnlich mit λ . Die Zeit, die zum Verlauf einer solchen Welle nötig ist,

bezeichnet man mit T (Schwingungsdauer). Es ist dann die Wellenlänge λ gleich der Fortpflanzungsgeschwindigkeit multipliziert mit der Schwingungsdauer, d. h. es ist $\lambda = 300000 \cdot T$. Ist z. B. $T = \frac{1}{200000}$ Sekunde, dann ist die Wellenlänge $\lambda = 1.5 \text{ km} = 1500 \text{ m}$. Mit dieser Wellenlänge würde sich also die betreffende Welle im Raum fortpflanzen. (Vgl. Anhang 4: Elektrische Schwingungen.) Da nun die Eigenschwingung eines geraden Vertikaldrahtes eine Wellenlänge von der vierfachen Länge des Luftleiters besitzt (vgl. Abschnitt 30), so müßte man eine Antenne von 375 m Höhe aufrichten, um die oben genannte Welle von 1500 m in den Raum aussenden zu können. Durch in die Antenne eingeschaltete Selbstinduktionsspulen ist man aber in der Lage, Wellen von größerer Länge schon mit erheblich weniger hohen Antennen aussenden zu können. (Vgl. Abschnitt 6.)

Die Wellenlängen, die in der Funkentelegraphie gewöhnlich verwendet werden, schwanken zwischen 500 und 3000 m. Schiffsstationen arbeiten mit Wellenlängen von 300 m, während Landstationen Wellenlängen von 700 bis 12000 m verwenden. Die Großstation Lafayette bei Bordeaux arbeitet mit einem Poulsen-Sender und Wellenlängen von 13850 bis 23500 m. Wellen unter 500 m Länge werden schon stark durch Bodenhindernisse (Waldungen, Bodenerhebungen) beeinflußt.

Andererseits wächst nun die Fernwirkung mit der Frequenz. Da die Schwingungs- oder Periodendauer $T = \frac{1}{n}$, so findet man die Schwingungszahl oder Frequenz aus $n = \frac{1}{T}$. (Vgl. Anhang 4: Elektrische Schwingungen.)

Da die Frequenz aber um so größer, je kleiner die Wellenlänge, so darf man Wellen von sehr großer Länge ebenfalls nicht verwenden. Aus diesem Grunde ist es auch ausgeschlossen, daß man durch eine gewöhnliche Wechselstrommaschine mit ihrer niederen Periodenzahl die Antenne in Schwingungen versetzen könnte. Man würde z. B. mit einer Wechselstrommaschine von 25 Perioden, wie solche zur Kraftübertragung benutzt werden, eine Wellenlänge von $\frac{300000}{25} = 12000 \text{ km}$ erhalten. Bei einer Maschine von 50 Perioden erhielt man immer noch eine Wellenlänge von 6000 km.

Derartige Wellen wären für die Übertragung der elektrischen Energie durch den Raum durchaus unbrauchbar, ihre Frequenz ist eine viel zu geringe. Wechselstrommaschinen für direkte Erzeugung hoher Frequen-

zen bei gleichzeitiger Erzielung großer Leistungen sind schwer zu konstruieren. Von Goldschmidt und anderen sind besondere Maschinen zur Erzeugung elektrischer Wellen gebaut worden. Das Prinzip der Goldschmidtschen Maschine besteht in einer Rückwirkung der elektrischen Energie des Rotors auf den Stator und umgekehrt bei einer gleichzeitigen Steigerung der Frequenz.

34. Gerichtete drahtlose Telegraphie.

Durch geeignete Antennenanordnung ist man in der Lage, die Wellen nach einer bestimmten Richtung aussenden zu können, wie auch aus einer bestimmten Richtung zu empfangen. Eine scharfe Abgrenzung der Richtung ist hierbei jedoch nicht möglich.

Erregt man z. B. zwei einfache nebeneinanderstehende vertikale Antennen derartig, daß die Schwingungen in ihnen eine Phasenverschiebung von 180° haben, also immer einander gegengerichtet sind, so geht die Ausstrahlung der Wellen vorzugsweise in der durch die beiden Vertikalantennen gelegten Ebene vor sich. In den zu ihr senkrechten Ebenen bleibt die Ausstrahlung dagegen aus.

Will man nur nach einer Seite Wellen aussenden, so läßt sich die rückwärtige Strahlung dadurch aufheben, daß man in der Mitte der beiden Vertikalantennen noch eine dritte Antenne aufstellt, die man doppelt so stark wie die beiden ersten Antennen erregt und derartig abstimmt, daß die Mittelantenne mit der einen Seitenantenne in Phase schwingt, mit der anderen sich dagegen stets in gegengerichteter Phase befindet. Die Seitenstrahlung kann man verringern, wenn man die Anzahl der vertikalen Luftleiter vermehrt.

Braun stellte die drei Vertikalantennen in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks auf. Bei einer bestimmten Wellenlänge und einem bestimmten Verhältnis der Schwingungsweiten, gelingt es die Wellen der einen Antenne in einer bestimmten Richtung auszusenden. Durch ein Umschalten der einzelnen Antennen kann man die Wellen nach verschiedenen Richtungen einstellen.

Man kann dies auch dadurch erreichen, daß man in den Radien einer Windrose eine Anzahl gerichteter Antennen so anordnet, daß diese durch einen umlaufenden Kontakt einzeln an den Erregerkreis angeschlossen werden können. Der Telefunkenkompaß hat z. B. 36 Horizontaldrähte, die in gegenseitigem Abstand von 10° zu 10° liegen. Die Apparatur kann

mittels eines Schalters schnell an je ein Vertikalantennenpaar angeschlossen werden. Die Empfangsstärke ist dann am größten, wenn das Antennenpaar angeschlossen ist, das in der Senderichtung liegt.

Bellini und Tosi haben bei ihrem Radiogoniometer zwei sich kreuzende Antennenpaare aufgestellt, deren Ebenen aufeinander senkrecht stehen. In der Mitte befinden sich die mit beiden Antennenpaaren verbundenen Kopplungsspulen. Innerhalb der Kopplungsspulen liegt die drehbar angeordnete Erregerspule. Die Abbildung 53 zeigt die Einrichtung. AA und $A'A'$ sind die beiden Antennenpaare, a und a' die beiden zuge-

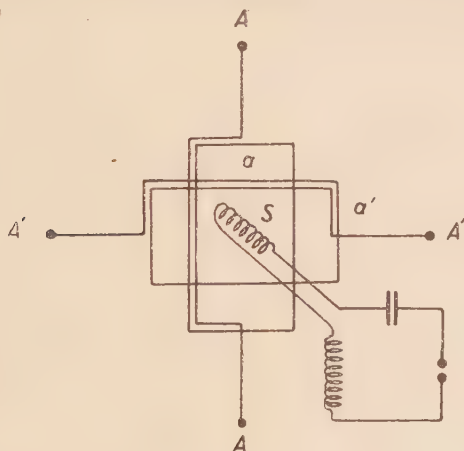


Abb. 53.

hörigen Antennenverlängerungsspulen, S die drehbare Erregerspule (Senderkopplungsspule bzw. Empfangskopplungsspule). Letztere Spule kann nun je nach ihrer Lage beim Senden das eine Antennenpaar allein oder beide Antennenpaare gleichzeitig erregen und in gleicher Weise beim Empfang von einem Antennenpaar allein oder von beiden gleichzeitig beeinflußt werden.

Auf der Empfangsstation wird die für das Auffangen der Wellen günstigste Richtung die sein, in der die Antenne in die Richtung des Senders zeigt. Der Empfang setzt aus, wenn die Antenne senkrecht zu dieser Richtung steht.

Damit man nun nur einen Mast aufzustellen braucht, ist es nicht nötig, Windmüller, Drahtlose Telegraphie.

die Antennenleiter vertikal hochzuführen. Man kann die einzelnen Drähte auch von ihren Fußpunkten unter einem Winkel nach oben führen und an einer einzigen Mastspitze befestigen.

Die Spule S des Sendegoniometers hat der starken Sendeströme wegen wenige Windungen von großem Drahtquerschnitt, die Spulen der Empfangsgoniometer zeigen dagegen Windungen eines dünnen Kupferdrahtes. Die Schaltung des Radiogoniometers der Empfangsstation zeigt die Abbildung 54. Die Achsen der beiden festen Spulen stehen senkrecht aufeinander, ihre Enden $a a$ und $a' a'$ sind mit den Antennenpaaren $A A$ und $A' A'$ verbunden. (Vgl. Abb. 53.) In der Mitte der beiden festen

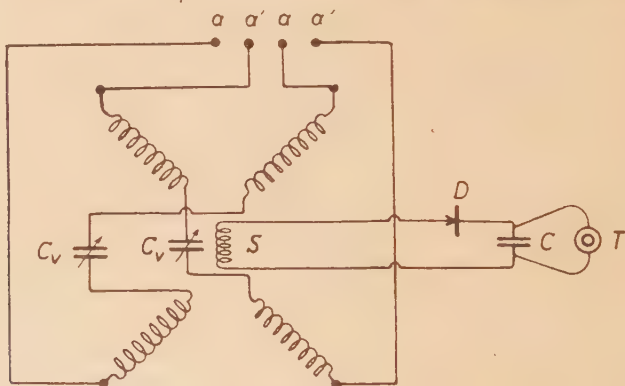


Abb. 54.

Spulen liegt je ein veränderbarer Kondensator C_v für die Abstimmung der Antennen auf die auftreffenden Wellen. Beide Kondensatoren lassen sich gemeinschaftlich einstellen. Die drehbare Spule S ist mit der Empfängerapparatur verbunden, der Empfangskreis besteht aus einem Detektor D , einem Blockkondensator C und dem parallel zu letzterem liegenden Telephonhörer T . Man kann die Spule S auch mit einem abstimmbaren Kreis verbinden und auch einen Zwischenkreis einschalten.

Die Verstärkerröhren (vgl. Abschnitt 20 usf.) gestatten jetzt die Anwendung einfacher drehbarer Braunscher Rahmenantennen, die früher wegen ihrer geringen Empfangsenergie nicht verwendet werden konnten. Die Telefunken-Gesellschaft hat in ihrem Hause solche quadratische Rahmenantennen aus mehreren Windungen bestehend von nur 1 m

Seitenlänge aufgestellt. Diese vermitteln den Empfang aller größeren Stationen Europas. Mit einer Rahmenantenne von 3 m Seitenlänge gelingt es Telegramme aus Nord-Amerika aufzunehmen. Das Empfangsmaximum liegt in der Rahmenrichtung, bei der die Sendestation in der Richtung der Rahmenebene liegt. Die Rahmenantenne empfängt und sendet also besser aus in der Richtung ihrer Ebene, als in einer Richtung senkrecht zu dieser oder in den zwischenliegenden Stellungen.

Man kann auch in einem Raume gleichzeitig mehrere solcher kleinen Rahmenantennen benutzen, ohne daß diese sich gegenseitig stören. Die große Richtfähigkeit und Unabhängigkeit der Rahmenantenne zeigt auch die Station in Alt-Geltow bei Potsdam. Die Antenne steht mit ihrer Ebene senkrecht zur Richtung der nur wenige Kilometer entfernten Großstation bei Nauen und bleibt durch diese vollständig ungestört.

Ein einfaches Mittel der gerichteten Telegraphie besteht in der schon

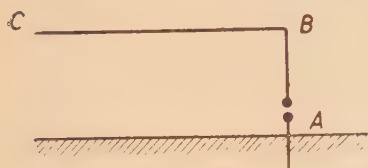


Abb. 55.

von Marconi im Jahre 1904 eingeführten geknickten Antenne. Diese wird nicht vertikal, sondern größtenteils horizontal aufgestellt. Die Strahlwirkung einer derartig geknickten Antenne $A B C$ ist in der Richtung $C B$ am größten (Abb. 55). Die Wellen verlaufen

nur zum Teil im Erdboden, da dieser nur eine geringe Leitfähigkeit besitzt. Benutzt man eine geknickte Antenne als Empfangsantenne, so wird diese am besten auf die Wellen ansprechen, die in der Richtung $B C$ auftreffen. Die geknickten Antennen zeichnen sich durch einfachen Aufbau aus und lassen sich stark belasten ohne zu sprühen. Das Sprühen tritt stets bei Überlastung der Antenne ein und stellt einen Energieverlust dar.

Die größte geknickte Antenne hat die Station Carnarvon in England. Bei einer Länge von 1,2 km und einer Breite von 150 m beträgt die Höhe der Masten 120 m.

Bei der anfangs erwähnten Doppelantenne hat man eine ziemliche Seitenstrahlung, dagegen keine rückwärtige Strahlung. Die geknickte Antenne verhält sich gerade umgekehrt. Zenneck hat daher die geknickte Doppelantenne eingeführt und mit dieser günstige Wirkungen erzielt. Die rückwärtige Strahlung fällt wie bei der einfachen Doppelantenne fort und die Seitenstrahlung ist erheblich verringert. Zwei geknickte Antennen, die

nur wenige Meter über den Erdboden. z. B. über Bäume und niedrige Pfähle verlegt werden, werden Erdantennen genannt. Letztere haben in der Armee bei den Funkenkleinstationen eine vielfache Anwendung gefunden.

Alle die genannten Antennenarten für gerichtete Wellen werden auch in der Richtung am stärksten durch auftreffende Wellen beeinflusst, in der sie am stärksten Wellen aussenden.

35. Leitungsgerichtete Wellentelephonie.

In neuerer Zeit hat man für Überlandzentralen die leitungsgerichtete Hochfrequenz-Telephonie eingerichtet. Bei dieser, die schon vor Jahren von Slaby und anderen vorgesehen wurde, werden in der Nähe der Hoch-

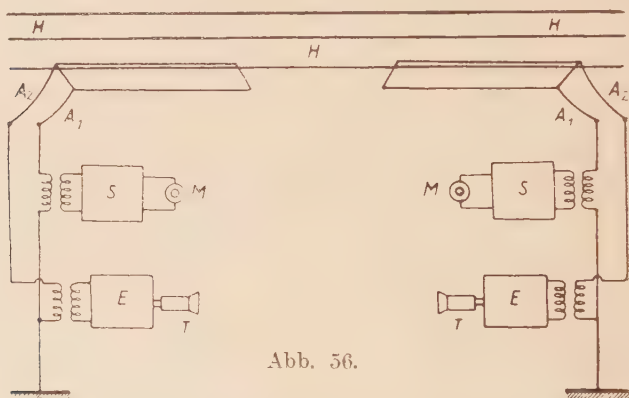


Abb. 56.

spannungsleitungen elektrische Wellen erzeugt, die sich längs des Hochspannungsnetzes fortpflanzen und von einem abgestimmten Empfängerapparat aufgenommen werden können. Derartige Drahtwellen haben gegenüber den Raumwellen der drahtlosen Telephonie große Vorteile. Sie erleiden sehr geringe Verluste, pflanzen sich nur in der gewünschten Richtung längs der Leitung fort und zeichnen sich neben der größeren Energieersparnis durch eine große Störungsfreiheit aus. Eine Gefährdung der Empfangs- und Sendeapparate durch Gewitter oder durch das Hochspannungsnetz selbst ist vollständig ausgeschlossen. Die Apparate stehen mit der unterhalb des Leitungsnetzes aufgehängten Antenne gar nicht unmittelbar in Verbindung, sie sind mit der geerdeten Antenne durch eine Kopplung verbunden. Die Abbildung 56 zeigt die grundsätzliche Einrichtung.

lung. Der Sendeapparat S für ungedämpfte Schwingungen mit dem Mikrophon M ist mit der Antenne A_1 gekoppelt, während der Empfangsapparat E mit dem Telephon T und der Antenne A_2 ebenfalls besonders gekoppelt ist. Die Antennen sind mehrere Meter unterhalb der Hochspannungsleitung H bei etwa 100 m Länge aufgehängt. Die ganze Handhabung der Apparate ist genau die gleiche wie beim gewöhnlichen Telephonbetrieb. Auf der 135 km langen Hochspannungsfernleitung Golparummelsburg, ebenso auf der für die Schichau-Werke in Elbing hat die „Gesellschaft für drahtlose Telephonie“ derartige Hochfrequenztelephonanlagen eingerichtet, die bei vollständig genügender Lautstärke zur Zufriedenheit arbeiten. Die Betriebskosten derartiger Anlagen sind geringer als solche mit Drahtleitungen und mit Kabelverbindungen, besonders bei großen Entfernungen. Störungen in den Hochspannungsanlagen durch äußere Einflüsse treffen gewöhnlich auch die Drahtleitungen der Telephonanlagen und schalten letztere gerade im notwendigsten Gebrauchsfalle aus. Bei den drahtlosen Anlagen der Hochfrequenztelephonie fällt dieser Übelstand fort.

Das Gegensprechen erfolgt in der Weise, daß Sender und Empfänger auf Wellen verschiedener Länge abgestimmt sind. Man kann also wie bei gewöhnlichem Telephonbetrieb miteinander verkehren und braucht nicht zeitlich nacheinander zu hören und zu sprechen wie sonst bei der Wellentelephonie. Man benötigt allerdings ziemlich große Wellenunterschiede, damit der Sender beim Sprechen nicht durch den eigenen Empfänger gestört wird.

Neben ortsfesten Apparaten sind von der „Gesellschaft für drahtlose Telephonie“ auch bewegliche Stationen für Automobil und Fahrrad gebaut, die an eine Hilfsantenne angeschlossen werden können.

Ähnlich wie an Hochspannungsnetzen kann man auch an bestehenden Telephonleitungen entlang, z. B. vom Eisenbahnzug aus elektrische Wellen senden. Auf den Wagen befinden sich in dem Falle kleine Antennen. Man kann hierbei Signale geben und auch Sprechen und Gegensprechen, und zwar lassen sich neben dem Gespräch in der Telephonleitung noch mehrere Gespräche mittels der Wellen übertragen.

36. Der Wellenmesser.

Wellenlängen eines schwingenden elektrischen Systems, z. B. die eines geschlossenen Schwingungskreises oder auch die der Antenne kann

man mit einem besonderen Meßinstrument, dem Wellenmesser, bestimmen. Dieser beruht auf der Anwendung der Resonanz (vgl. Abschnitt 2 und Anhang 5: Resonanz) und besteht aus einem Drehkondensator C_v (Abb. 57), dessen Kapazität stetig zu verändern ist, und einer Selbstinduktionsspule L . Weiter ist in diesen Kreis noch eine Kopplungsspule geschaltet, die aus einer primären und einer sekundären Windung S_1 und S_2 besteht. Mit der sekundären Windung ist ein Hitzdrahtwattmesser H verbunden, dessen Ausschläge eine direkte Messung der Schwingungsenergie ergeben. Die Selbstinduktion L besteht aus einer flachen Ring-spule, man kann an ihre Stelle andere ähnliche Spulen für die verschiedenen Wellenbereiche schalten und zwar sind derartige Spulen für Wellen von 100 m bis etwa 3000 m Länge vorgesehen. Die Wellenlängen für die verschiedenen Spulen L und eine bestimmte Kondensatorstellung kann man

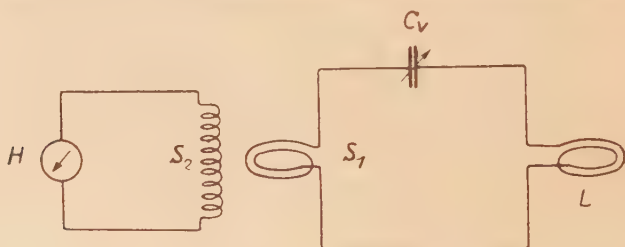


Abb. 57.

an beigegebenen Kurven direkt ablesen. Bei diesen Kurven sind die Einstellungen des Kondensators als Abscissenwerte und die entsprechenden Wellenlängen auf der Ordinate angegeben. Bei manchen Wellenmessern kann man die Längen direkt an einer am Drehkondensator C_v befindlichen Wellenskala für jeden Fall ablesen. Wird nun der Wellenmesserkreis in Schwingungen versetzt, so wird man am Hitzdrahtwattmesser H einen Zeigerausschlag erhalten. Je stärker diese Schwingungen sind, um so größer wird der Instrumentausschlag sein. Die Energieaufnahme ist aber dann am größten, wenn Resonanz vorhanden ist. Will man also irgendeinen Schwingungskreis messen, dann koppelt man diesen mit dem Wellenmesser mittels der Spule L induktiv und verändert die Kapazität des Drehkondensators C_v solange bis man einen Höchstausschlag am Hitzdrahtwattmesser beobachtet.

Bei den Messungen verfährt man nun in folgender Weise. Will man

z. B. einen geschlossenen Sendekreis auf eine bestimmte Wellenlänge einstellen, so stellt man den Wellenmesserkreis auf diese Wellenlänge ein und verändert die Selbstinduktion des Sendekreises solange bis man am Hitzdrahtwattmesser den Höchstausschlag beobachtet. Eine möglichst lose Kopplung des Wellenmessers mit dem zu prüfenden Kreis ist notwendig, da sonst die Erscheinung der Doppelwelligkeit auftritt (vgl. Abschnitt 8). Man erhält bei Doppelwelligkeit ungenaue und nicht einwandfreie Werte.

Will man die Wellenlänge einer induktiv gekoppelten Antenne bestimmen, so schaltet man in die Antenne (Abb. 58) eine Meßspule Z ein, die die Antennenschwingung möglichst wenig beeinflusst. Diese

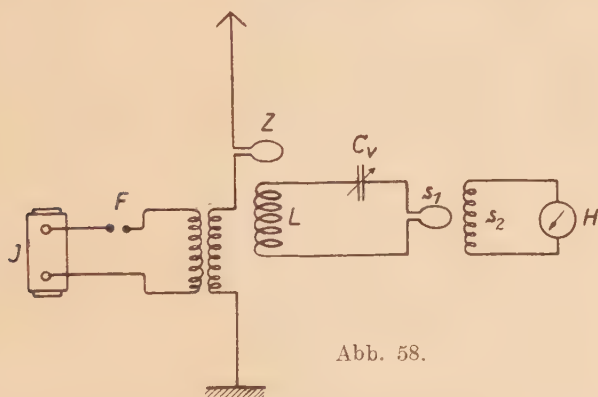


Abb. 58.

Spule Z koppelt man nun lose mit der Selbstinduktion L des Wellenmesserkreises und ändert dann die Kapazität C_v und die Selbstinduktion des Wellenmessers solange bis man am Hitzdrahtwattmesser den Höchstausschlag erreicht. Der Wellenmesser befindet sich dann in Resonanz mit der Antenne. Die an der Skala des Drehkondensators oder auf der beigegebenen Kurve abgelesene Wellenlänge ist gleich der der Antenne. Letztere kann man in Eigenschwingung versetzen, indem man eine Funkenstrecke F durch ein Induktorium J betätigt.

Statt des Hitzdrahtwattmeters verwendet man auch eine kleine Glühlampe für 4 Volt Spannung mit Metallfaden. Diese Lampe zeigt die Resonanz durch ihre größte Helligkeit an. Größere Lampen kann man nicht verwenden, da ihr zu großer Stromverbrauch die Dämpfung des Instrumentkreises vergrößert. Auch Leuchtröhren mit Heliumfüllung

von einigen Zehntelmillimetern Druck sind in Gebrauch. Da diese Röhren wenig Strom, dagegen eine verhältnismäßig hohe Spannung benötigen, so werden sie direkt an den Drehkondensator C' angeschlossen ohne Zwischenschaltung einer Kopplungsspule, wie dies beim Hitzdrahtwattmesser geschieht.

Die Gesellschaft „Telefunken“ hat einen neueren Wellenmesser konstruiert, der verschiedentlich verwendet werden kann. Derselbe besteht aus einem geschlossenen Schwingungskreis, in den ein veränderbarer Kondensator C' , eine Selbstinduktionsspule L und eine Kopplungsspule S geschaltet sind. (Abb. 59.) Für die verschiedenen Meßbereiche sind wiederum verschiedene Selbstinduktionsspulen L für Wellenlängen von 180 m bis 2500 m vorgesehen. Weiter ist eine Vakuumröhre H mit

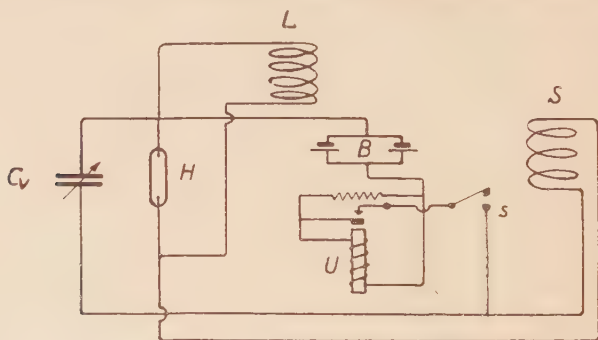


Abb. 59.

Heliumfüllung und ein Selbstunterbrecher U , ein sogenannter Summer, eingeschaltet. Letzterer wird durch zwei parallel geschaltete Trockenelemente B in Tätigkeit versetzt. Mittels dieses Summers kann der Instrumentkreis zu Schwingungen angeregt werden.

Will man nun eine unbekannte Senderwelle bestimmen, so koppelt man den zu messenden Schwingungskreis mit dem Wellenmesser möglichst lose und öffnet den Schalter s .

Will man jedoch den Wellenmesser z. B. zur Abstimmung eines Empfängers auf eine bestimmte Wellenlänge benutzen, so koppelt man wiederum möglichst lose und schaltet mittels des Schalters s den Summer U ein. Die Spulen L und S erhalten dann Strom aus den Elementen B , der dauernd durch U unterbrochen wird. Hierdurch wird der Kondensator C' aufgeladen und man erhält im Apparatkreis Schwingungen, die durch

die Kapazität C_r und die Selbstinduktion von L und S bedingt sind. Man stellt nun den Apparat auf eine bestimmte Wellenlänge ein, nähert die Kopplungsspule S dem Empfängerkreis und stimmt diesen solange durch Veränderung seiner Kapazität und Selbstinduktion ab, bis man Resonanz erreicht hat. Letzteres erkennt man im Telephonhörer des Empfängerkreises durch günstigstes Ansprechen des Detektors.

Weitere Messungen mit dem Wellenmesser sind im Abschnitt 9 des Anhanges besprochen.

Anhang.

1. Selbstinduktion.

Wie beim Richtungswechsel des Stromes oder bei der Stromstärkenänderung in einem benachbarten Leiterkreis Induktionswirkungen hervorgerufen werden, ebenso entstehen auch im Eigenkreis des Stromes durch Induktion Stromstöße. Diese Extraströme haben stets eine entgegengesetzte Richtung wie der Eigenstrom, ihre elektromotorische Kraft ist um so größer, je schneller die Änderung der Eigenstromverhältnisse vorsichgeht. Die entstehende elektromotorische Kraft ist eine Folge des um den Stromleiter verlaufenden magnetischen Kraftfeldes wechselnder Dichte, sie ist daher in Spulen, besonders in solchen mit Eisenkernen, größer als in geraden Leitern. Bei gleicher Änderung der Eigenstromverhältnisse ist die elektromotorische Kraft um so größer, je mehr Windungen die Spule besitzt.

Unter Koeffizient der Selbstinduktion oder Induktivität versteht man die von der Form des Stromleiters herrührende Größe, die mit der Änderung der Stromstärke in der Zeiteinheit multipliziert, die elektromotorische Kraft des durch Selbstinduktion entstehenden Extrastromes angibt. Bei gleicher Art der Stromstärkenänderung wird man in den verschiedenen Spulen verschiedene Werte für die elektromotorische Kraft des Extrastromes erhalten. Die Spule, in der die Stromstärkenänderung derartig ist, daß in jeder Sekunde sich der Stromwert um 1 Ampere ändert und hierbei die entstehende elektromotorische Kraft den Wert 1 Volt beträgt, soll die Einheit der Induktivität besitzen. Man nennt diese Einheit 1 Henry.

$$\text{Es ist also } 1 \text{ Henry} = \frac{1 \text{ Volt} \cdot 1 \text{ Sekde.}}{1 \text{ Amp.}}$$

Dann ist die mathematische Dimension der Induktivität gleich der Dimension der Spannung multipliziert mit der Dimension der Zeit, dividiert durch die Dimension der Stromstärke. Man hat also:

$$\frac{c^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot s^{-2} \cdot s}{c^{1/2} \cdot g^{1/2} \cdot s^{-1}} = c$$

Drückt man die Spannung in Volt und den Strom in Ampere aus, dann erhält man die Dimension Henry:

$$\frac{10^8 \cdot c^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot s^{-2} \cdot s}{10^{-1} \cdot c^{1/2} \cdot g^{1/2} \cdot s^{-1}} = 10^9 c$$

Diese Einheit ist für die in der Praxis vorkommenden Fälle meist zu groß, man hat deshalb 1 Millihenry als Einheit eingeführt.

$$1 \text{ Millihenry} = 10^{-3} \text{ Henry.}$$

Man kann auch setzen:

$$1 \text{ cm Selbstinduktion} = 10^{-9} \text{ Henry} = 10^{-6} \text{ Millihenry.}$$

Zur Vergleichung sind Einheitsrollen von 1 Henry bis 0,1 Millihenry hergestellt.

Für die Selbstinduktion einer zylindrischen Spule ohne Eisenkern mit nur einer Drahtlage ergibt sich der Näherungswert:

$$L = \frac{4 \pi \xi^2 Q}{l},$$

wo L die Selbstinduktion in cm, ξ die Windungszahl der Spule, Q den Querschnitt derselben und l die Spulenlänge in cm bedeuten*).

Diese Formel gilt nur für Spulen, deren Länge groß im Verhältnis zum Durchmesser, oder für Spulen, deren Dicke klein gegenüber dem Durchmesser ist.

Solche eisenfreie Flachspulen werden als Flachspulenvariometer vielfach in der Funkentelegraphie verwendet.

Es ist aber $\frac{0.4 \pi Q}{l}$ die vom Strom 1 Ampere in einer Windung erzeugte Kraftlinienzahl. Wenn man diese mit der Windungszahl ξ der Spule multipliziert, erhält man die Summe der Kraftlinien, welche durch die Windungsfläche der Spule bei einer Stromstärke 1 Ampere hindurchgehen.

Dies kann man auch aus Folgendem erkennen: Bei einer Änderung des Stromes i in der unendlich kleinen Zeit dt um den Wert di ändert sich das Kraftfeld N um den Leiter um dN Kraftlinien. Hierdurch ent-

*) Für eine Spule mit Eisenkern ist $\tilde{L} = \frac{4 \pi \xi^2 Q}{l} \mu$, wo μ die magnetische Durchlässigkeit (Permeabilität) bezeichnet.

steht im Leiter eine elektromotorische Kraft, deren Größe man aus der Formel findet:

$$E = \frac{dN}{dt}$$

Die entstehende elektromotorische Kraft der Selbstinduktion möge mit E_s bezeichnet werden. Da sie der Stromstärkenänderung stets entgegengesetzt ist, drückt man dies durch ein Minuszeichen aus und setzt elektromotorische Kraft der Selbstinduktion:

$$E_s = - \frac{dN}{dt}$$

In einem Leiter von ξ Windungen hat man bei gleicher Änderung des Kraftfeldes den Wert:

$$E_s = - \xi \frac{dN}{dt}$$

Drückt man E_s in Volt aus, so muß man setzen, da 1 Volt gleich 10^8 absolute Einheiten:

$$E_s = - \xi \frac{dN}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ Volt}$$

Man kann die Selbstinduktion aber nicht nur durch die Kraftlinienänderung, sondern auch durch die Stromstärkenänderung ausdrücken. Es ist dann:

$$E_s = - L \frac{di}{dt} \text{ Volt,}$$

Hier bedeutet i den Strom in Ampere, dt eine unendlich kleine Zeit. Das Minuszeichen setzt man wieder, da die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion E_s der Stromstärkenänderung entgegengesetzt gerichtet ist. L nennt man den Koeffizienten der Selbstinduktion oder Induktivität (vgl. oben).

Beide Ausdrücke für E_s kann man in eine Gleichung setzen, es ist dann:

$$E_s = - L \frac{di}{dt} = - \xi \frac{dN}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ Volt.}$$

Hieraus findet man die Induktivität:

$$L = \xi \frac{dN}{di} \cdot 10^{-8} \text{ Henry.}$$

Die Induktivität L ist also die pro Ampere erzeugte Kraftlinienzahl multipliziert mit der Windungszahl ξ der Spule.

2. Kapazität.

Ein Kondensator besteht aus zwei Metallplatten, die durch eine isolierende Schicht (Dielektrikum) getrennt sind. Verbindet man beide Platten (Abb. 60) mit den Polklemmen einer Elektrizitätsquelle, so wird die eine Platte positiv, die andere negativ geladen. Bei der Ladung der positiven Platte pflanzt sich die Wirkung durch den nichtleitenden Zwischenraum (Dielektrikum) beider Platten fort, so daß die andere Platte negative Ladung erhält. Nur die positive Elektrizität wird hierbei in Bewegung gesetzt. Die Ladung der negativen Platte geschieht nicht durch Hinzufießen von negativer Elektrizität, sondern erfolgt durch Abfließen von positiver Elektrizität. Die anfänglich positiv geladene Platte übt auf

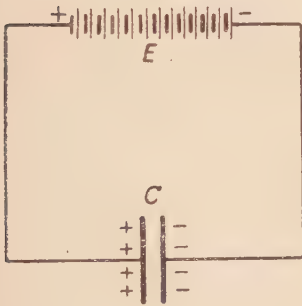


Abb. 60.

die andere Platte Influenz aus. Das Zufießen des positiven Ladungsstromes erfolgt solange, bis der Kondensator C geladen ist, d. h. bis die Gegenspannung der auf den Kondensator geladenen Elektrizitätsmenge gleich der Spannung der Ladequelle E ist. Die aufgeladene Elektrizitätsmenge ist um so größer, je größer die Spannung der Ladequelle und je größer das Aufnahmevermögen (Kapazität) des Kondensators ist.

Ist Q die aufgeladene Elektrizitätsmenge (Kondensatorladung), so ist

$$Q = C \cdot E,$$

wo E die Spannung der Ladequelle, C die elektrische Kapazität bedeutet.

Die Kapazität hängt aber ab von der Gestalt und Größe der Kondensatorplatten sowie von ihrem Abstand, ferner noch vom Material der isolierenden Zwischenschicht, dem Dielektrikum.

Für zwei parallele Platten, deren Fläche je $q \text{ cm}^2$ und deren Abstand $l \text{ cm}$ ist, hat man eine Kapazität:

$$C = \frac{\epsilon q}{4 \pi l}.$$

ϵ nennt man die Dielektrizitätskonstante, sie ist für Luft (und Vakuum) 1, für Paraffin 1,9—2,3, für Glas 2,7—8,4, für Glimmer 4—8 und für Petroleum 2,1—2,4.

Die Kapazität wächst also mit der Dielektrizitätskonstante.

Es war nun die Kondensatorladung:

$$Q = C \cdot E.$$

dann ist:

$$C = \frac{Q}{E},$$

es ist also die Dimension der Kapazität gleich der Dimension der Elektrizitätsmenge dividiert durch die Dimension der Spannung, d. h. gleich:

$$\frac{c^{1/2} g^{1/2}}{c^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot s^{-2}} = c^{-1} s^2$$

Da die absolute Einheit der Spannung nun gleich dem hundert-millionsten Teil des Volt, die absolute Einheit der Elektrizitätsmenge dagegen gleich 10 Coulomb, so müßte ein Kondensator von der absoluten Einheit der Kapazität ziemliche Dimensionen besitzen, um bei einer großen Ladung eine geringe Gegenspannung auszuüben.

Man hat daher als praktische Einheit die Kapazität eines Kondensators gewählt, der mit der elektrischen Menge 1 Coulomb geladen, den Spannungszustand 1 Volt annimmt und nennt diese Einheitskapazität 1 Farad (Faraday).

Es ist also:

$$1 \text{ Farad} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Volt}},$$

dann ist die Dimension Farad gleich der Dimension Coulomb dividiert durch die Dimension Volt, also gleich:

$$\frac{10^{-1} c^{1/2} \cdot g^{1/2}}{10^8 c^{3/2} g^{1/2} s^{-2}} = 10^{-9} c^{-1} s^2$$

In der Praxis wird vielfach, da das Farad zu groß, das Mikrofarad verwendet.

$$1 \text{ Mikrofarad} = 10^{-6} \text{ Farad.}$$

Es ist also:

$$1 \text{ Farad} = 10^{-9} \text{ absolute Einheiten,}$$

$$1 \text{ Mikrofarad} = 10^{-9} \cdot 10^{-6} = 10^{-15} \text{ absolute Einheiten.}$$

Die Dimension der Kapazität im elektrostatischen Maß findet man aus folgendem: die Kapazität einer Kugel ist die Ladung m , die dieser das Potential 1 erteilt. Die Einheit des Potentials hat aber eine Kugel vom Halbmesser 1 cm, die mit der Elektrizitätsmenge 1 geladen ist. Das elektrostatische Potential oder die Spannung einer Kugel vom Radius r

und der Ladung m ist gleich $\frac{m}{r}$. Soll das Potential $P = \frac{m}{r} = 1$ sein, dann muß $r = 1$ sein.

Es ist dann die Dimension des elektrostatischen Potentials oder der Spannung gleich der Dimension m dividiert durch die Dimension r , also gleich:

$$\frac{c^{3/2} g^{1/2} \cdot s^{-1}}{c} = c^{1/2} g^{1/2} \cdot s^{-1}$$

Dann ist die Dimension der elektrostatischen Kapazität gleich der Dimension der Menge dividiert durch die Division P , also gleich:

$$\frac{c^{3/2} g^{1/2} s^{-1}}{c^{1/2} g^{1/2} \cdot s^{-1}} = c$$

Man kann auch von Folgendem ausgehen: Eine Kugel mit dem Radius $r = 1$ wird durch die Einheit der Elektrizitätsmenge auf das Potential 1 geladen. Wächst ihr Radius, so verkleinert sich ihr Potential im selben Verhältnis. Die elektrische Kapazität C eines Leiters bestimmt man nun als die Elektrizitätsmenge, welche den Leiter auf die Einheit des Potentials ladet. Um einen Leiter nun auf ein Potential P zu laden, ist eine P mal so große Ladung erforderlich. Bezeichnet man diese mit m dann ist $m = CP$. Es ist dann die Kapazität gleich

$$\frac{m}{P} = \frac{\text{Elektrizitätsmenge}}{\text{Potential}}$$

Es ladet nun eine Elektrizitätsmenge m eine Kugel vom Radius r auf das Potential $P = \frac{m}{r}$, dann ist die elektrostatische Kapazität

$$C = \frac{m}{P} = \frac{m}{\frac{m}{r}} = r$$

Es zeigt sich also, daß die Dimension der elektrostatischen Kapazität eine Länge ist, also in cm zu messen ist. Eine Kugel mit dem Radius 1 cm hat die elektrostatische Kapazität 1 cm.

Vergleicht man die Dimensionen des elektromagnetischen und elektrostatischen Maßsystems miteinander, so ergibt sich, daß z. B. die Elektrizitätsmenge des elektromagnetischen Systems ($c^{1/2} g^{1/2}$) mit $c \cdot s^{-1}$ multipliziert werden muß, um die gleiche elektrostatische Einheit ($c^{3/2} g^{1/2} \cdot s^{-1}$) zu erhalten. Die elektromagnetische Einheit der Kapazität ($c^{-1} s^2$) ist mit $c^2 s^{-2}$ zu multiplizieren, um die elektrostatische Einheit der Kapazität (c) zu erhalten.

Es stellen aber $c \cdot s^{-1} = v$ und $c^2 \cdot s^{-2} = v^2$ Geschwindigkeiten dar, wenn auch mit verschiedenen Potenzexponenten.

Durch Versuche ist festgestellt worden, daß diese Geschwindigkeiten gleich der Lichtgeschwindigkeit sind, d. h. gleich $3 \cdot 10^{10}$ cm in der Sekunde.

Es ist also die elektromagnetische Einheit der Kapazität gleich $3^2 \cdot 10^{20} = 9 \cdot 10^{20}$ elektrostatische Einheiten oder eine elektrostatische Einheit der Kapazität gleich $\frac{1}{9} \cdot 10^{-20}$ elektromagnetische Einheiten.

Da nun 10^{-9} elektromagnetische Einheiten gleich 1 Farad, so ist eine elektrostatische Einheit gleich $\frac{1}{9} \cdot 10^{-20} \cdot 10^9 = \frac{1}{9} \cdot 10^{-11}$ Farad.

Es ist dann ferner:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Farad} &= 9 \cdot 10^{11} \text{ elektrostatische Einheiten} \\ &= 9 \cdot 10^{11} \text{ cm Kapazität} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ Mikروفarad} &= 10^{-6} \text{ Farad} \\ &= \frac{9 \cdot 10^{11}}{10^6} = 9 \cdot 10^5 \text{ cm Kapazität.} \end{aligned}$$

Es sind also:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Mikروفarad} &= 900000 \text{ cm Kapazität} \\ 0,1 &= 90000 \text{ „ „} \\ 0,01 &= 9000 \text{ „ „} \\ 0,001 &= 900 \text{ „ „ usw.} \end{aligned}$$

Die Kapazität eines Kondensators läßt sich nun nach der oben gegebenen Formel $C = \frac{\epsilon q}{4 \pi l}$ berechnen.

Besteht z. B. der Kondensator aus zwei Platten von der Fläche 1000 cm² mit einer Zwischenschicht aus Luft von 0,1 cm, so wäre die Kapazität

$$C = \frac{1 \cdot 1000}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,1} = 796 \text{ cm} = 0,000883 \text{ Mikروفarad.}$$

Bestände die isolierende Zwischenschicht nicht aus Luft, sondern aus Petroleum, so wäre

$$C = \frac{2,4 \cdot 1000}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,1} = 1910 \text{ cm} = 0,00212 \text{ Mikروفarad.}$$

Hätte nun der Kondensator nicht nur 1 Paar Platten, sondern 6 Paar Platten, so müßte man die eben erhaltenen Werte mit 11 multiplizieren,

da ja stets zwei Platten einen einfachen Kondensator bilden. Man bekäme dann im ersten Fall für die Luftisolation einen Wert für C von 0,009713 Mikrofarad und im zweiten Fall für die Petroleumisolation 0,02332 Mikrofarad.

Kondensatoren können nun parallel und hintereinandergeschaltet werden. Im ersten Fall wächst die Kapazität proportional mit der Zahl der parallelgeschalteten Kondensatoren. Man hat bei n parallelgeschalteten gleichen Kondensatoren die n -fache Kapazität. Jeder Kondensator wird bei der Parallelschaltung mit der gleichen Spannung E beansprucht (Abb. 61). Bei der Hintereinanderschaltung verringert sich die Kapazität im umgekehrten Verhältnis der Zahl der Kondensatoren. Man hat bei n gleichen Kondensatoren eine n mal so geringe Kapazität wie bei einem Kondensator. Die Durchschlagsfestigkeit bei der Hintereinanderschaltung wächst proportional mit der Zahl der Kondensatoren, da die Spannung an

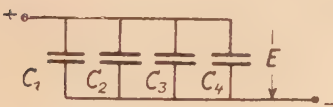


Abb. 61.

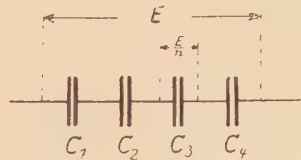


Abb. 62.

einem Kondensator bei Hintereinanderschaltung gleich dem n -ten Teil der ganzen Spannung zwischen n gleichen Kondensatoren ist. (Abb. 62.)

Die gesamte Kapazität zweier hintereinandergeschalteter Kondensatoren C_1 und C_2 ist

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Nach letzterer Formel läßt sich z. B. auch die wirksame Kapazität einer Antenne berechnen.

Bezeichnet man mit:

C die in die Antenne eingeschaltete Kapazität eines Kondensators (Abb. 63),

C_{ae} die Kapazität der Antenne gegen Erde,

C_{ag} die Kapazität der Antenne gegen das Gegengewicht,

C'_{ge} die Kapazität des Gegengewichts gegen Erde,

dann ist die wirksame Kapazität der Antenne:

$$C_A = \frac{C_{ae} \cdot C}{C_{ae} + C}$$

Bei der Gegengewichtschaltung (vgl. Abschnitt 32) wird die wirksame Antennenkapazität:

$$C_A = C_{ag} + \frac{C_{ae} \cdot C_{ge}}{C_{ae} + C_{ge}}$$

Bei der Parallelschaltung von Kondensatoren wächst die Kapazität. Man erhält hierbei langsamere Schwingungen, die Schwingungsdauer wird also vergrößert. Bei einem Kondensator C_1 hat man eine Schwingungsdauer $T = 2\pi \sqrt{L \cdot C_1}$ (vgl. Anhang 4: Elektrische Schwingungen)



Abb. 63.

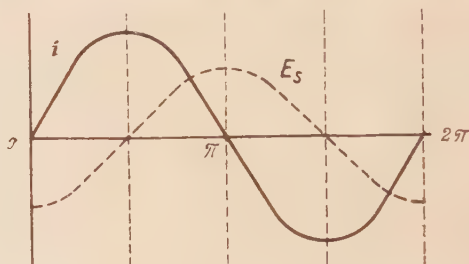


Abb. 64.

Bei zwei parallel geschalteten Kondensatoren C_1 und C_2 (vgl. die Abb. 61) hat man dagegen eine größere Schwingungsdauer $T' = 2\pi \sqrt{L \cdot (C_1 + C_2)}$.

Bei der Hintereinanderschaltung der Kondensatoren verringert sich die Schwingungsdauer, es wächst die Schwingungszahl. (Vgl. Anhang 4.) Bei zwei hintereinandergeschalteten Kondensatoren C_1 und C_2 wird die

$$\text{Schwingungsdauer } T_s = 2\pi \sqrt{L \cdot \left(\frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \right)}$$

3. Selbstinduktion und Kapazität im Wechselstromkreis.

a) Selbstinduktion im Wechselstromkreis.

Den Höchstwert der elektromotorischen Kraft im Wechselstromkreis findet man aus:

$$E_{max} = 2\pi n \xi N \cdot 10^{-8} \text{ Volt,}$$

wo n = Frequenz, ξ = Windungszahl, N = Kraftlinienzahl.

Wird das Kraftfeld N durch den in der Spule verlaufenden Wechselstrom selbst erzeugt, so spricht man von Selbstinduktion. Man kann dann die entstehende elektromotorische Kraft der Selbstinduktion statt durch die Kraftlinienänderung durch die Stromstärkenänderung ausdrücken (vgl. Anhang 1) und erhält dann die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion aus

$$E_s = - L \frac{di}{dt} \text{ Volt,}$$

wo L den Selbstinduktionskoeffizienten bedeutet.

Ändert sich nun der Strom i nach einem Sinusgesetz, dann wird die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion:

$$E_s = - 2 \pi n L i_{\max} \cdot \cos 2 \pi n t \text{ Volt,}$$

wo t die Zeit bedeutet, L in Henry und i in Ampere zu setzen ist.

Aus dieser Gleichung ergibt sich, daß die elektromotorische Kraft der Selbstinduktion dem induzierenden Strom um 90° nachhinkt (Abb. 64)

b) Kapazität im Wechselstromkreis.

Wirkt eine veränderliche Spannung auf einen Kondensator ein, so ändert sich auch dessen Ladung. Wächst z. B. die Spannung in der Zeit dt um den Wert dE , so fließt eine Elektrizitätsmenge $i dt$ in den Kondensator, wobei dessen Ladung um den Wert dQ zunimmt. dQ ist proportional der Spannungszunahme und man kann setzen:

$$dQ = i dt = C dE \text{ Coulomb,}$$

wo Q die Elektrizitätsmenge, C die Kapazität und E die Spannung in Volt bedeuten.

Ändert sich nun die Spannung E nach einem Sinusgesetz, so wird,

$$\text{da } i = C \frac{dE}{dt} \text{ Ampere:}$$

$$i = 2 \pi n C \cdot E_{\max} \cdot \cos 2 \pi n t \text{ Ampere,}$$

wo C in Farad zu setzen ist.

Der Strom eilt also der einwirkenden Spannung um 90° voraus. (Abb. 65.) Aus der Überlegung, daß die elektromotorische Gegenkraft E_c des Kondensators der einwirkenden Spannung E direkt entgegengesetzt ist, erhält man die Kurve E_c , welche der Kurve i der Stromstärke um 90° voraufeilt.

c) Selbstinduktion und Kapazität im Wechselstromkreis in Reihenschaltung.

In einem Wechselstromkreis sind eine Selbstinduktion L und eine Kapazität C hintereinander geschaltet. Durch den ganzen Kreis von Widerstand R fließt dann ein Strom i . Die hierzu nötige Spannung muß die gegen elektromotorische Kraft der Selbstinduktion überwinden, ferner den Strom in den Kondensator drücken und weiter den Spannungsverlust im ganzen Widerstand R aufheben.

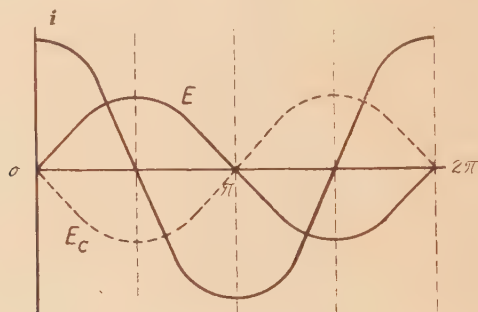


Abb. 65.

Um die gegen elektromotorische Kraft der Selbstinduktion L zu überwinden, gebraucht man eine Spannung:

$$E_s = 2\pi n L i.$$

Um den Strom in den Kondensator C zu drücken, ist eine Spannung nötig:

$$E_c = \frac{1}{2\pi n C} \cdot i$$

Um den Spannungsverlust im ganzen Kreise aufzuheben, gebraucht man eine Spannung:

$$E_r = i \cdot R.$$

Die nötige Gesamtspannung findet man dann aus:

$$E = i \sqrt{R^2 + \left(2\pi n L - \frac{1}{2\pi n C}\right)^2} \text{ Volt.}$$

4. Elektrische Schwingungen.

Schwingungsdauer. Schwingungszahl. Wellenlänge.

Die Zeit, in der eine Schwingung verläuft, nennt man Schwingungsdauer oder Periodendauer (Abb. 1). Dieselbe ist $T = \frac{1}{n}$, wo n die Schwingungszahl oder Frequenz bedeutet (Zahl der Schwingungen in der Sekunde). Es ist dann $n = \frac{1}{T}$.

Ein in einen Wechselstromkreis eingeschalteter Kondensator wird dem Wechselstrom einen scheinbaren Widerstand darbieten, der um so geringer sein wird, je größer die Kapazität des Kondensators und je höher die Schwingungszahl n ist. Man nennt diesen Widerstand Kondensanz und findet ihn aus der oben genannten Formel (vgl. Anhang 3c):

$$E_c = \frac{1}{2 \pi n C} \cdot i,$$

die Kondensanz ist dann gegeben aus $\frac{1}{2 \pi n C}$

Man kann nun setzen:

$$\frac{1}{2 \pi n C} = \frac{1}{\frac{2 \pi}{T} \cdot C},$$

wenn man Bezug nimmt auf die Periodendauer.

Ist nun neben diesen Kondensator C mit seinem scheinbaren Widerstand noch ein Ohmscher Widerstand R in den Kreis geschaltet, so setzen sich beide zusammen zu:

$$\sqrt{R^2 + \frac{1}{\left(\frac{2 \pi}{T}\right)^2 \cdot C^2}}$$

Verläuft in einem Kreis mit der Kapazität C , dem Ohmschen Widerstand R und der Selbstinduktion L ein Wechselstrom bei einer Spannung E und der Schwingungszahl $n = \frac{1}{T}$, so wird die Stromstärke durch alle drei Größen C , L und R beeinflusst werden.

Würde C allein in den Stromkreis geschaltet sein, so wäre die Stromstärke:

$$i_c = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{2\pi}{T} \cdot C\right)^2}}$$

Hätte man nur die Selbstinduktion L eingeschaltet, so hätte man einen Strom:

$$i_s = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{2\pi}{T} \cdot L\right)^2}}$$

da $E_s = 2\pi n L i = \frac{2\pi}{T} L i$ (vgl. Anhang 3c).

Sind C und L , wie dies gewöhnlich der Fall ist, in einen gemeinsamen Kreis geschaltet, so hat man eine gemischte Wirkung und erhält einen Strom i . Kondensanz und Induktanz wirken nun aber einander entgegen, es ist daher in die Formel von i die Differenz beider zu setzen. Man findet dann die Stromstärke aus:

$$i = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{2\pi}{T} \cdot L - \frac{1}{\frac{2\pi}{T} \cdot C}\right)^2}}$$

Sind beide Größen im Nenner gleich, d. h. wenn:

$$\frac{2\pi}{T} L = \frac{1}{\frac{2\pi}{T} \cdot C},$$

dann ist ihre Differenz gleich Null.

In diesem Fall wird man einen Höchstwert der Stromstärke haben. Ist also:

$$\frac{2\pi}{T} L - \frac{1}{\frac{2\pi}{T} \cdot C} = 0.$$

dann wird:

$$i = \frac{E}{\sqrt{R^2}} = \frac{E}{R}$$

Für hohe Werte der Schwingungsdauer T wird man nun die Gleichheit beider Größen kaum erreichen, da fast nur kleine Kapazitäten verwendet werden. Man verwendet in der Funkentelegraphie Kapazitäten von höchstens 10^{-6} Farad (0,01 Mf.).

Bei Schwingungszahlen, die größer sind als die gebräuchlichen Maschinenfrequenzen, läßt sich eine Gleichheit von Kondensanz und Induktanz wohl ermöglichen.

In diesem Fall ist dann:

$$\frac{2 \pi}{T} \cdot L = \frac{1}{\frac{2 \pi}{T} \cdot C};$$

es ist dann weiter:

$$\frac{2 \pi}{T} \cdot L = \frac{T}{2 \pi C}$$

und:

$$2 \pi L \cdot 2 \pi C = T^2$$

$$(2 \pi)^2 \cdot L \cdot C = T^2$$

$$2 \pi \sqrt{L C} = T$$

Bei einer Schwingungsdauer $T = 2 \pi \sqrt{L C}$ werden sich also die beiden scheinbaren Widerstände aufheben.

Die Schwingungszahl findet man dann aus:

$$n = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L C}}$$

Die Wellenlänge ergibt sich aus:

$$\lambda = T \cdot v = 2 \pi \sqrt{L C} \cdot v,$$

wo v die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bedeutet. Diese ist bei elektrischen Wellen gleich der Lichtgeschwindigkeit, gleich 300000 km/sek. Es ist also $v = 3 \cdot 10^{10}$ cm, dann wird:

$$\begin{aligned} \lambda &= 3 \cdot 10^{10} \cdot T \text{ cm} = \frac{3 \cdot 10^{10}}{n} \text{ cm} \\ &= 2 \pi \cdot 3 \cdot 10^{10} \sqrt{L C} \text{ cm} \\ &= 6 \pi \sqrt{L C} \cdot 10^{10} \text{ cm} \\ &= 6 \pi \sqrt{L C} \cdot 10^8 \text{ m (vgl. Abschnitt 2).} \end{aligned}$$

5. Resonanz.

Stimmt die Eigenschwingungszahl $n = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L C}}$ eines schwingungsfähigen Systems mit einer einwirkenden Schwingungszahl überein, so hat man Resonanz. Unter Resonanz versteht man also die Übereinstimmung schwingender Körper oder Systeme bezüglich ihrer Schwin-

gungszahl. In der Wellentelegraphie wird die Resonanz bei der Abstimmung auf gleiche Schwingungszahlen angewendet (vgl. Abschnitt 2). Aus der Formel für die Schwingungszahl $n = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$ ist zu ersehen, daß man bei gleichbleibenden Werten von n durch eine Veränderung der Kapazität C oder der Selbstinduktion L eine Abstimmung erreichen kann. Im Resonanzfall, d. h. wenn die auftreffende Schwingungszahl mit der des angeregten Systems übereinstimmt, wird die Schwingungsweite der erzwungenen Schwingung ihren Höchstwert haben. Aus der Resonanz-

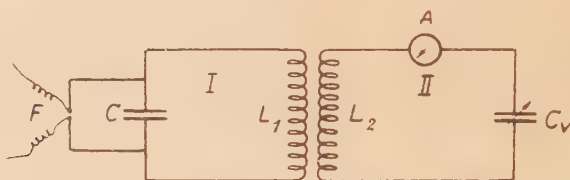


Abb. 66.

kurve (vgl. Anhang 9) kann man die Abhängigkeit der Schwingungsweite der angeregten Schwingung von der einwirkenden Periode erkennen. Sowohl die Schärfe der Resonanz wie die Größe der Schwingungsweite im Resonanzpunkt hängen von der Summe der Dämpfungen im einwirkenden und im beeinflussten System ab. Die Resonanzkurve kann man folgendermaßen aufnehmen. In dem mit dem Kreis II (Abb. 66) induktiv gekoppelten Kreis I werden elektrische Schwingungen erzeugt. In dem

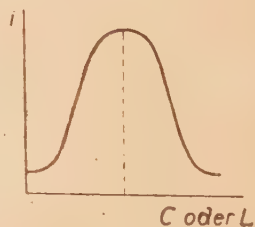


Abb. 67.

Kreis II ist eine veränderbare Kapazität C_v und eine ebensolche Selbstinduktion L_2 eingeschaltet, mittels welcher man die Schwingungszahl n stetig verändern kann. Stellt man die den verschiedenen Einstellungen des veränderbaren Kondensators C_v oder der ebenfalls veränderbaren Selbstinduktion L_2 entsprechenden Ausschläge eines genügend empfindlichen Strommessers A fest, so erhält man die Resonanzkurve, indem man die Stromwerte i auf einer Ordinate und die entsprechenden Werte der Kapazität oder der Selbstinduktion auf der Abscisse aufträgt (Abb. 67).

Der Strom besitzt in der Resonanzlage seinen Höchstwert, ebenso ist die vom Kreise II aufgenommene Energie in diesem Punkt am größten. Bei gleichbleibender Schwingungszahl n wird die Resonanzkurve um so flacher sein, je größer der Energieverbrauch im Kreise, d. h. je größer die Widerstände sind.

Den Stromwert i findet man aber aus der unter Anhang 3c angeführten Formel für die Gesamtspannung, es ist dann:

$$i = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi n L - \frac{1}{2\pi n C}\right)^2}}$$

Den Winkel φ der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung findet man aus:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2\pi n L - \frac{1}{2\pi n C}}{R}$$

Der Strom i wird seinen Höchstwert erreichen, wenn die Widerstände möglichst klein, wenn also:

$$2\pi n L - \frac{1}{2\pi n C} = \frac{2\pi}{T} \cdot L - \frac{1}{\frac{2\pi}{T} \cdot C} = 0,$$

(vgl. Anhang 4). Es ist weiter:

$$(2\pi n)^2 \cdot L \cdot C = 1,$$

dann wird:

$$i_{\max} = \frac{E}{\sqrt{R^2}} = \frac{E}{R}$$

Wenn sich also der induktive Widerstand $2\pi n L = \frac{2\pi}{T} L$ und der kapazitive Widerstand $\frac{1}{2\pi n C} = \frac{1}{\frac{2\pi}{T} \cdot C}$ aufheben, dann ist die Stromstärke i am größten. Der Wert für φ wird dann gleich Null.

6. Dämpfung.

Die in einem Schwingungskreis schwingende Energie hat, wie im vorangehenden Abschnitt gezeigt wurde, Widerstände zu überwinden. Hierbei nimmt die Schwingungsweite mehr und mehr ab, die Schwingungen werden „gedämpft“, bis sie endlich vollständig abklingen. Je geringer die Dämpfung, um so weniger nehmen die Schwingungsweiten

bei jeder einzelnen Schwingung ab, um so länger verharret der Kreis im Schwingungszustande. Das Verhältniß zweier um eine Periode auseinanderliegender Höchstwerte der Schwingung A_1 und A_2 ist konstant, man kann es als das Maß der Größe der Dämpfung benutzen und bezeichnet dasselbe als Dämpfungsverhältniß.

Statt dieses Verhältnisses verwendet man als Maß den natürlichen Logarithmus desselben, das sogenannte logarithmische Dekrement der Dämpfung. Dieses ist:

$$\log \text{ nat } \frac{A_1}{A_2} = \frac{R}{2L} \cdot T = \vartheta,$$

wo T die Periodendauer.

$\frac{R}{2L} = \delta$ wird als Dämpfungsfaktor bezeichnet.

Es war aber:

$$(2\pi n)^2 \cdot L \cdot C = 1,$$

dann wird das logarithmische Dekrement der Dämpfung:

$$\vartheta = \frac{R}{2L} \cdot T = \delta \frac{1}{n} = \pi R \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Hieraus ersieht man, daß die Dämpfung um so kleiner ist, je kleiner der Widerstand R und je kleiner die Kapazität C ist. Die Dämpfung verringert sich weiter, je größer die Selbstinduktion L .

Da in obiger Formel für ϑ die Spannung nicht enthalten ist, folgt, daß diese die Dämpfung nicht beeinflußt. Es ist jedoch leicht einzusehen, daß bei gleicher Dämpfung um so mehr Perioden folgen, die Schwingung also um so länger andauert, je größer die Spannung ist. Bei einer größeren Spannung ist ja auch der Höchstwert der Schwingung größer.

Da das logarithmische Dekrement ϑ ebenso wie der Verlauf der Resonanzkurve von den drei Größen R , L und C abhängig ist, so läßt sich ϑ aus der Resonanzkurve (Abb. 67) ablesen. Aus der Breite dieser Kurve kann man unmittelbar die Größe der Dämpfung erkennen, die Schärfe der Resonanz ist um so größer, je geringer die Dämpfung im Kreise. (Abb. 70).

Das logarithmische Dekrement der Dämpfung berechnet sich aus:

$$\vartheta = \pi \cdot \frac{L - L_r}{L_r} \cdot \sqrt{\frac{i^2}{i_{\max}^2 - i^2}},$$

wo L_r die Selbstinduktion im Resonanzfall für den Strom $i_{\max}$, L die Selbstinduktion für einen beliebigen Stromwert i bedeutet.

Man muß also, um $\mathcal{Q}$ zu finden, aus der Resonanzkurve für den Höchstwert des Stromes i_{max} und einen beliebigen anderen Stromwert i die zugehörigen Werte der Selbstinduktion L_r und L feststellen.

7. Kopplungsfaktor, Kopplungsgrad.

Zwei nebeneinanderliegende Spulen L_1 und L_2 mit Selbstinduktion üben eine gegenseitige Induktion aufeinander aus, die um so stärker, je mehr beide Spulen einander genähert und je mehr Spulenwindungen parallel liegen. Die gegenseitige Induktion wächst weiter, wenn beide Spulen um einen Eisenkern gewickelt. Letzteren Fall hat man aber nur beim Transformator und ähnlichen Apparaten. Die Spulen der funkentelegraphischen Apparate haben keinen Eisenkern.

Sind nun L_1 und L_2 die Koeffizienten der Selbstinduktion der beiden Spulen (vgl. Anhang, Abschnitt 1), so findet man den Koeffizienten der gegenseitigen Induktion aus:

$$L_g = z \sqrt{L_1 \cdot L_2} \text{ Henry.}$$

z wird Kopplungsfaktor genannt und ist eine Zahl, die kleiner als 1, größer als 0 ist. Es ist also der Koeffizient der gegenseitigen Induktion kleiner als der Ausdruck $\sqrt{L_1 L_2}$.

Der Wert von z schwankt bei Transformatoren zwischen 0,99 und 1. Bei funkentelegraphischen Apparaten ist der Wert von z erheblich kleiner, da hier kein Eisenkern vorhanden, auch nimmt z bei diesen Apparaten einen sehr verschiedenen Wert an, da bei der Funkentelegraphie die verschiedensten Kopplungen vorkommen.

Den Kopplungsfaktor findet man aus:

$$z = \frac{L_g}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

Hat z. B. die Induktivität L_1 den Wert 0,6 Henry, L_2 0,006 Henry und L_g den Wert 0,052 Henry, dann ist:

$$z = \frac{L_g}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} = \frac{0,052}{\sqrt{0,6 \cdot 0,006}} = 0,866$$

Im Abschnitt 8 (Kopplungswellen usw.) ist dargestellt worden, daß man zwischen zwei schwingenden Kreisen, z. B. dem Antennenzweig und dem Kondensatorkreis keine vollständige Resonanz erzielen kann, selbst wenn man beide auf eine bestimmte Grundschwingung λ_0 abgestimmt hat.

Infolge der gegenseitigen Rückwirkung der beiden Kreise (gegenseitige Induktion) erhält man in einem zusammengekoppelten System zwei Schwingungen von ungleicher Wellenlänge λ_1 und λ_2 (vgl. Abb. 11a und 11b).

Aus dieser Doppelwelligkeit kann man eine Größe für die Bestimmung der Kopplung ableiten, den sogenannten Kopplungsgrad. Hat man die Grundwelle λ_0 , auf die beide Kreise ursprünglich eingestellt waren, festgelegt und mißt man nach der Kopplung beider Kreise (vgl. Anhang. Abschnitt 9) die beiden auftretenden Wellen λ_1 und λ_2 , so kann man den Kopplungsgrad finden aus:

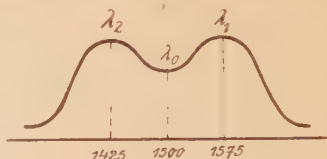


Abb. 68.

$$K = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_0}$$

Hat man z. B. als Grundwellenlänge λ_0 1500 m gewählt (Abb. 68) und findet man bei der Zusammenkopplung die Werte für λ_1 gleich 1575 m und für λ_2 gleich 1425 m, so wird:

$$K = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_0} = \frac{1575 - 1425}{1500} = \frac{1}{10} = 10\%,$$

es ist also der Kopplungsgrad $K = 0,1$.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß für eine scharfe Abstimmung ein Kopplungsgrad von etwa 5% am günstigsten ist.

Bei der direkten Kopplung der Antenne (vgl. Abb. 6) kann man den Kopplungsgrad auch durch den gemeinsamen Teil der Spulenwindungen beider Kreise in Prozent ausdrücken. Beträgt z. B. der gemeinsame Teil der Spulenwindungen 50% des Schwingungskreises und 4,5% des Antennenzweiges, dann wird der Kopplungsgrad:

$$K = \sqrt{50 \cdot 4,5} = \sqrt{225} = 15\%$$

8. Energie schwingender Systeme.

Bei der alten Anordnung von Marconi (vgl. Abb 4) war die Antenne direkt an die Funkenstrecke angeschlossen. Die verfügbare Energie des Sendesystems findet man hier aus:

$$A = \frac{n C_a E^2}{2},$$

wo n die Funkenfolge in der Sekunde, C_a die Antennenkapazität, E die Spannung bedeutet.

Die Energie eines schwingenden elektrischen Systems ist also außer von der Funkenfolge abhängig von der Spannung an der Funkenstrecke und von der Größe der Kapazität des Systems. Bei der Marconischen Anordnung konnte man durch Vergrößerung der Funkenstrecke die Zündspannung und damit die Schwingungsenergie erhöhen. Bei den späteren Systemen hängt aber die Größe der Spannung neben der Maschinen-spannung von dem Übersetzungsverhältnis des Transformators ab.

Allgemein kann man sagen: Je größer die Spannung und je größer die Kapazität eines in ein schwingungsfähiges System eingeschalteten Kondensators ist, eine um so größere Elektrizitätsmenge kann man diesem System zuführen.

Wird z. B. ein Kondensator von der Kapazität C durch eine elektromotorische Kraft E geladen und ändert sich hierbei die Spannung um den Wert dE , so ändert sich auch seine Ladung. Hierbei strömt dem Kondensator eine Elektrizitätsmenge $J dt$ Coulomb zu, seine Ladung nimmt zu um den Wert dQ . Es ist aber dQ der Spannungszunahme proportional und man hat:

$$dQ = J dt = C dE \text{ Coulomb,}$$

wo J die Stärke des Stromstoßes während der kleinen Zeit dt . (Vgl. Anhang 2, Kapazität.)

Bei der Ladung wird nun eine Arbeit aufgewendet:

$$dA = E \cdot J dt \text{ Joule.}$$

Diese Arbeit vergrößert die im Kondensator aufgespeicherte elektrische Energie. Den Zuwachs findet man aus:

$$dA = CE dE \text{ Joule.}$$

Ist hierbei die elektromotorische Kraft von Null auf den Wert E gestiegen, so hat der Kondensator bei der Aufladung eine Energie aufgenommen:

$$A = \frac{1}{2} CE^2 \text{ Joule.}$$

Von größter Wichtigkeit ist es, die ausgestrahlte Energie zu kennen. Je größer die Stromstärke im Antennen-zweig ist, um so mehr Energie ist auf diesen übertragen worden. Schaltet man ein geeignetes Hitzdraht-instrument in den Antennen-zweig, so zeigt dies beim Geben den An-

tennenstrom J_a an. Kennt man nun den Antennenwiderstand R_a , so findet man die Energie des Sendesystems aus:

$$A = J_a^2 \cdot R_a \text{ Watt,}$$

wo J_a in Ampere, R_a in Ohm zu setzen ist.

Den Antennenwiderstand kann man aus der Resonanzkurve (Abb. 67) ableiten. Je größer dieser Widerstand, um so flacher wird die Resonanzkurve verlaufen. (Vgl. Anhang, Abschnitt 6.)

9. Messungen mit dem Wellenmesser.

Die Messung von Wellenlängen mittels des Wellenmessers ist schon im Abschnitt 36 beschrieben worden.

Bei der Bestimmung einer Selbstinduktion L schaltet man diese mit einem Kondensator von bekannter Kapazität C hintereinander und ver-

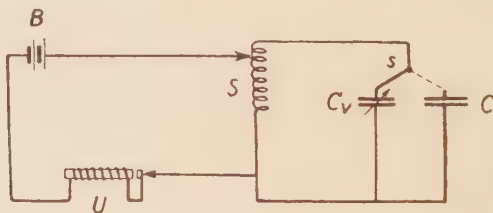


Abb. 69.

setzt diesen Kreis mittels einer Funkenstrecke oder durch einen Summer in Schwingungen. Mit dem lose gekoppelten Wellenmesser bestimmt man die Wellenlänge.

Aus der Formel für die Wellenlänge $\lambda = 2\pi \sqrt{L \cdot C}$ (vgl. Anhang, Abschnitt 4) findet man die gesuchte Selbstinduktion:

$$L = \frac{\lambda^2}{4\pi^2 C} \text{ Henry} = \frac{\lambda^2}{4\pi^2 C} \cdot 10^9 \text{ cm}$$

(Vgl. Anhang, Abschnitt 1.)

Will man die unbekannte Kapazität C eines Kondensators bestimmen, so schaltet man eine Spule S (Abb. 69), die durch einen Summer U aus der Batterie B erregt werden kann, mit einem veränderbaren Kondensator C_v von bekannter Kapazität hintereinander. Mittels des Schalters s kann man an Stelle von C_v den zu messenden Kondensator C schalten. In unmittelbarer Nähe stellt man einen lose gekoppelten Wellen-

messer auf und erregt letzteren durch den Summerstrom bei eingeschaltetem Kondensator C_v . Man mißt dann mit dem Wellenmesser eine Wellenlänge, die nach dem im Abschnitt 4 des Anhangs Behandelten

$$\lambda = 2 \pi \sqrt{C_v L}$$

Nun schaltet man an Stelle von C_v den unbekannten Kondensator C und bestimmt jetzt auf gleiche Weise die Wellenlänge $\lambda_x = 2 \pi \sqrt{C \cdot L}$

Es besteht dann folgende Beziehung:

$$\lambda : \lambda_x = 2 \pi \sqrt{C_v \cdot L} : 2 \pi \sqrt{C L}$$

$$\lambda \cdot 2 \pi \sqrt{C L} = \lambda_x \cdot 2 \pi \sqrt{C_v L}$$

$$\lambda \cdot \sqrt{C L} = \lambda_x \sqrt{C_v L}$$

$$\lambda^2 C = \lambda_x^2 \cdot C_v$$

Hieraus findet man die unbekannte Kapazität:

$$C = \frac{\lambda_x^2}{\lambda^2} \cdot C_v$$

Man kann auch in folgender Weise verfahren: Man schaltet zuerst die unbekannte Kapazität C ein und bestimmt die Welle λ und stellt dann mittels des eingeschalteten veränderbaren Kondensators C_v die gleiche Wellenlänge λ ein. Es ist dann der Wert von C an der Einstellung des an die Stelle von C geschalteten Kondensators C_v abzulesen.

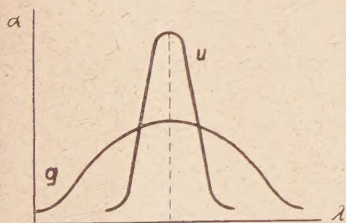


Abb. 70.

Auch die Abstimmsschärfe von Wellen läßt sich mittels des Wellenmessers feststellen. Man koppelt zu diesem Zwecke einen Wellenmesser

einmal mit einem Sendekreis mit offener Funkenstrecke, der gedämpfte Wellen aussendet und dann mit einem Sendekreis der ungedämpfte Wellen erzeugt. In beiden Fällen wird der Wellenmesser erregt werden. Durch Verstellen des Drehkondensators findet man die Wellenlängen unter gleichzeitiger Beobachtung der entsprechenden Hitzdrahtwattmesserausschläge α . Trägt man letztere auf eine Ordinate auf und die Wellenlängen λ auf eine Abscisse, so erhält man folgende Kurven für die gedämpften Wellen g und die ungedämpften Wellen u (Abb. 70). Die Scheitelwerte

beider Kurven liegen über der gleichen Schwingungszahl, dem Resonanzpunkt. (Vgl. Anhang, Abschnitt 5.) Die Kurve ist um so abgeflachter, je größer die Dämpfung des Systems (vgl. Abschnitt 6 des Anhangs) und je fester die Kopplung. (Vgl. Abschnitt 8 und Anhang, Abschnitt 7.)

Man ersieht hieraus, daß sich ungedämpfte Wellen erheblich stärker abstimmen lassen als gedämpfte Wellen. (Vgl. die Abschnitte 10 und 11.)

Anläßlich dieser erheblich größeren Abstimmsschärfe der ungedämpften Wellen brauchen sich ihre Längen nicht in der Weise voneinander zu unterscheiden wie die der gedämpften Wellen, um eine Störungsfreiheit der einzelnen Stationen untereinander zu ermöglichen.



Y0-AHN-282

